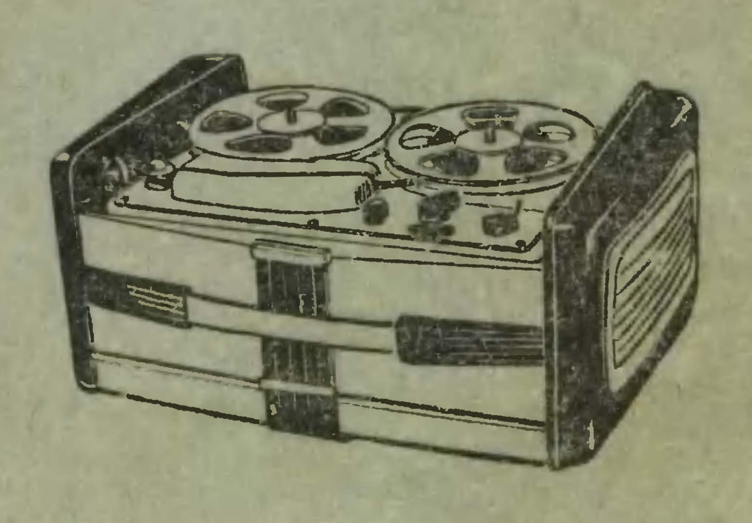
МАССОВАЯ РАДИО БИБЛИОТЕКА

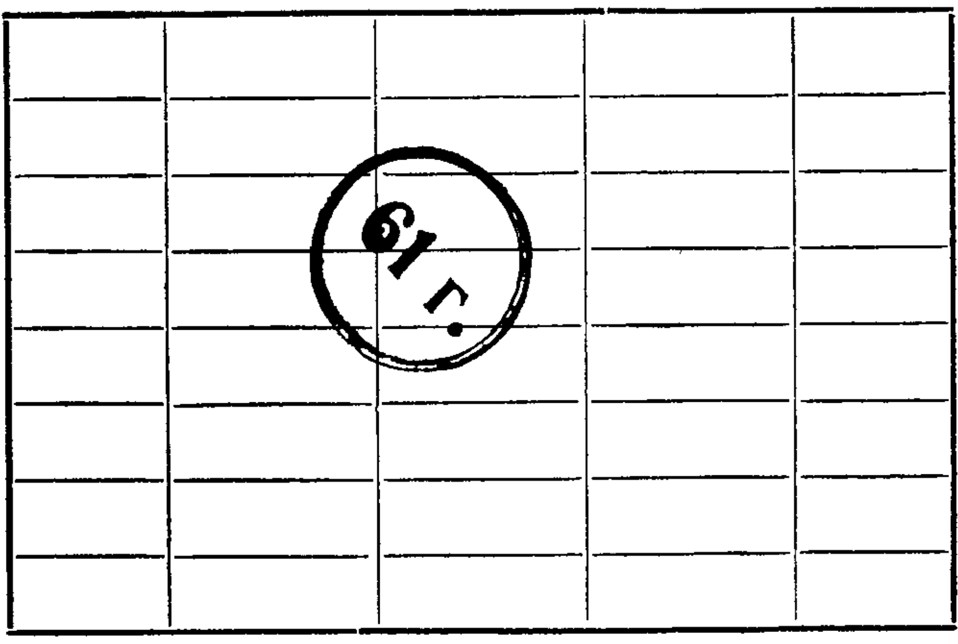
МИРОСЛАВ ГУРКА

МАГНИТОФОН



ГОСЭНЕРГОИЗДАТ





Тип им Котлякова 17 — 4 000 000

МАССОВАЯ РАДИОБИБЛИОТЕКА

Выпуск 360

МИРОСЛАВ ГУРКА

МАГНИТОФОН

Перевод с чешского А. И. КОЛЕСНИКОВА



ГОСУДАРСТВЕННОЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
МОСКВА 1960 ЛЕНИНГРАД

В книге, являющейся переводом с чешского, рассматриваются вопросы теории и практики магнитной записи звука, а также вопросы конструкции и применения магнитофонов.

Книга предназначена для радиотехников, обслуживающих магнитофоны в радиовещании, телевидении и кино, а также работников средней квалификации, работающих в области электроакустики. Она может быть полезной радиолюбителям, интересующимся постройкой магнитофонов.

Miroslav Hurka
Magnetofon
Státní nakladatelství technické literatury, Praha, 1958

Мирослав Гурка

МАГНИТОФОН

Перевод с чешского А. И. Колесникова

Редактор *В. Г. Корольков* Техн. редактор *Г. Е. Лари*

Сдано в пр-во 12/XI 1959 г. Подписано к печати 16/I 1
Бумага 84×108/32 Печ. л. 9 Уч.-изд.
Т-01243 Тираж 35 000 Цена 3 р. 85 к. 3

Типография Госэнергоиздата. Москва, Шлюзовая наб., 10.

ПРЕДИСЛОВИЕ К РУССКОМУ ПЕРЕВОДУ

Книга чешского инженера М. Гурка популярно рассказывает об устройстве, работе и практическом применении ппаратов магнитной записи — магнитофонов. Первые глаы посвящены краткому изложению основ акустики, магизма и электромагнетизма и подготавливают читателя ознакомлению с основной темой книги. В последующих лавах автор, не ограничиваясь объяснением принципов агнитной записи и устройства магнитофонов, знакомит конструкцией отдельных его узлов, электрическими схемами, образцами промышленной аппаратуры и различными применениями магнитной записи.

Столь широкий круг рассматриваемых вопросов является несомненным достоинством книги, так как создает достаточно полное представление о современном магнитофоне.

Учитывая большое внимание, которое проявляют к литературе о магнитофонах наши читатели, можно надеяться, что книга М. Гурки будет принята ими с интересом.

В. Корольков

СОДЕРЖАНИЕ

ГЛАВА ПЕРВАЯ

ОСНОВЫ АКУСТИКИ

1. Основные соотношения в акустике

Камертон, мембрана громкоговорителя или любая другая колеблющаяся система приводят в движение частицы окружающего воздуха, которые колеблются около положения равновесия в направлении распространения звуковой волны. В результате возникает переменное сжатие и разрежение воздуха. Весь этот процесс ухо воспринимает как звук до тех пор, пока число колебаний находится примерно в диапазоне от 16 до 16 000 в секунду.

Скорость, с которой распространяется звук в данной среде, называется скоростью звука. Обычно она обозначается буквой *c* и измеряется в метрах в секунду (*м/сек*). Скорость — постоянная величина, зависящая от физического состояния среды — температуры, барометрического давления и удельного веса. При температуре воздуха 20° С скорость звука в нем достигает примерно 344 *м/сек*. Обычные колебания барометрического давления не сказываются на скорости звука.

Совершенно иным понятием является акустическая скорость. Это скорость, с которой колеблются частицы среды в направлении распространения звуковой волны. Скорость этого движения меняется: при прохождении точки равновесия она максимальна, при наибольшем отклонении частицы — равна нулю. Акустическая скорость, таким образом, величина переменная, имеющая мгновенное, максимальное или эффективное значение.

Сгущение или разрежение частиц среды (воздуха) повторяется в каждой точке звукового поля через некоторый интервал времени, называемый периодом. Период обозначается буквой *T* и исчисляется в секундах [*сек*].

Величина, обратная периоду, дает число колебаний за секунду и называется частотой колебаний. Обозначается она буквой f и измеряется в герцах [*гц*] или циклах в секунду [*цикл/сек*]. За один период звуковая волна пройдет определенное расстояние, называемое длиной звуковой волны λ. Длина волны равна расстоянию между двумя соседними зонами сжатия частиц среды и измеряется в метрах. Связь между длиной звуковой волны λ [*м*], скоростью звука c [*м/сек*], частотой f [*гц*] и периодом T [*сек*] определяется соотношениями

$$\lambda = cT = \frac{c}{f}\ ;\ T = \frac{1}{f}\ ;\ f = \frac{1}{T}\ .$$

Звуковое давление. Давление воздуха имеет определенную величину, называемую барометрическим давлением. Колебания частиц воздуха в акустическом поле вызывают в данной точке сгущение или разрежение, т. е. переменное давление. Эта переменная составляющая, накладывающаяся на барометрическое давление, называется звуковым или акустическим давлением и обозначается буквой p [*дин/см*^{2}]. Единица давления 1 *дин/см*^{2} соответствует 1 бару [*бар*].

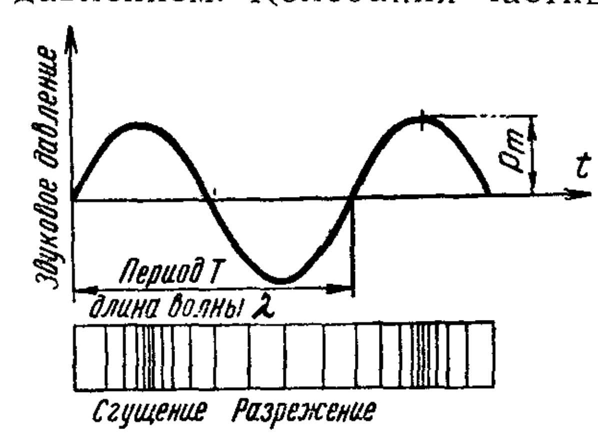


Рис. 1. Графическое изображение чистого тона.

При гармонической звуковой волне изменение давления в данной точке с течением времени происходит по закону синуса (рис. 1). Мгновенные значения звукового давления могут быть или положительные (сгущение) или отрицательные (разрежение). Наибольшее мгновенное значение звукового давления, появившееся в течение периода независимо от знака, называется максимальным или амплитудным давлением — $p_{макс}$. Чаще всего приходится пользоваться так называемым эффективным звуковым давлением — $p_{эфф}$. Для чисто синусоидального тона эффективное значение давления можно рассчитать по максимальному значению точно так же, как для переменного электрического тока,

$$p_{эфф} = \frac{p_{макс}}{\sqrt{2}}\ .$$

Электрические измерительные приборы, предназначенные для измерения звукового давления, проградуированы в эффективных значениях. Звуковое давление в 1 *дин/см*^{2} соответствует примерно давлению, создаваемому диктором на расстоянии 1 *м*. В шаровом акустическом поле, при котором звуковая волна распространяется шаровыми поверхностями, звуковое давление падает обратно пропорционально расстоянию от источника, например уменьшается наполовину при удвоении расстояния.

Синусоидальное изменение какой-либо величины можно представить как проекцию точки при круговом движении (рис. 2). Максимальное значение, или амплитуда синусоиды, определяется радиусом r окружности с центром O, по которой перемещается точка A. Проекция движущейся точки A на ось Y, изображенная в зависимости от времени t, будет синусоидой.

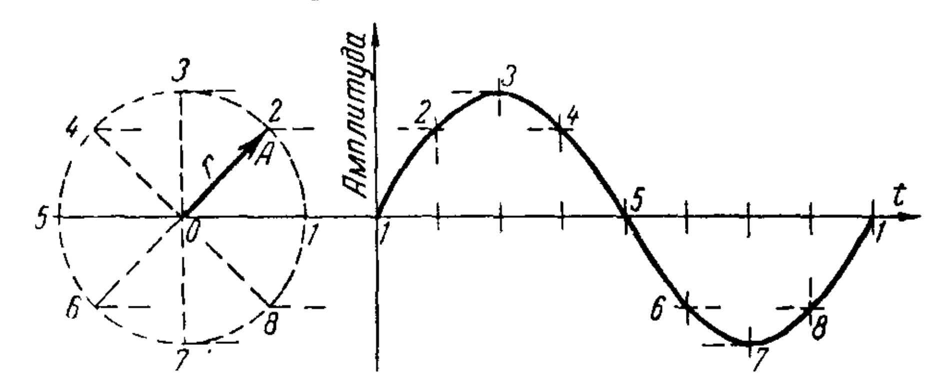


Рис. 2. Образование синусоиды.

Число оборотов точки A вокруг центра O определяется числом колебаний в секунду. За время одного колебания радиус-вектор r повернется на угол 360°, или 2π.

При частоте 50 *гц* за одну секунду радиус-вектор переместится на угол $2\pi f$, т. е. на $2\pi \cdot 50$. Выражение $2\pi f$ называется угловой скоростью и обозначается ω. Проекции мгновенного положения радиуса-вектора на ось времени t определяет величину мгновенных значений переменной величины. Эти значения непрерывно изменяются. При наблюдении двух синусоидальных колебаний одной частоты расстояние между их амплитудными значениями, выраженное в долях периода T, называется фазовым сдвигом колебаний.

Сила, или интенсивность, звука определяется потоком звуковой энергии, проходящей в секунду через единицу площади, расположенной перпендикулярно направлению движения звуковой волны; измеряется она в ваттах [*вт*]

или микроваттах [*мквт*] на квадратный сантиметр и обозначается буквой I. Сила звука I в данной точке акустического поля определяется соотношением

$$I = \frac{p_{эф}^2}{41,5} \cdot 10^{-7} \ [вт/см^2],$$

где $p_{эфф}$ — эффективное звуковое давление [*дин/см*^{2}], а число 41,5 определяется так называемым волновым сопротивлением воздушной среды. Для данной среды волновое сопротивление является постоянной величиной.

Порог слышимости соответствует силе звука $I_0 = 10^{-16}$ *вт/см*^{2} или пороговому звуковому давлению $p_0 = 2 \cdot 10^{-4}$ *дин/см*^{2} и определяет собой предел звукового ощущения уха при частоте 1 000 *гц*.

Звуковая мощность P_z определяется средним значением потока звуковой энергии, проходящей в единицу времени через площадь сечением F,

$$P_z = FI = \frac{F p_{эф}^2}{41,5} \cdot 10^{-7} \ [вт],$$

где F — площадь, *см*^{2}; значения остальных величин были приведены выше.

Относительный уровень звука определяется логарифмом отношения сравниваемых значений силы звука I. Увеличение силы звука в 10 раз повышает относительный уровень звука на единицу, называемую бел. Практически удобнее пользоваться единицами в 10 раз меньшими — децибелами. Тогда относительный уровень звука определяется соотношением

$$B = 10 \log \frac{I_1}{I_2} \ [дб],$$

где I_1 и I_2 являются сравниваемыми значениями силы звука.

Абсолютный уровень звука определяется соответственно как

$$B = 10 \log \frac{I}{I_0},$$

где I — сила измеряемого звука;

I_0 — пороговое значение силы звука при частоте 1 000 *гц*, равное 10^{-16} *вт/см*^{2}.

2. Основы физиологической акустики

Тон. Тоном мы называем звук, создаваемый регулярными периодическими колебаниями синусоидального характера.

Графическое изображение колебания чистого тона в зависимости от времени будет синусоидой (см. рис. 1). Звучание тонов определяется их частотой — высоким частотам соответствуют высокие тона и наоборот.

Музыкальный звук. Музыкальные звуки являются сложными колебаниями. При одинаковой высоте тона мы все же различаем звук скрипки, флейты, кларнета. Каждый музыкальный звук складывается из основного тона и ряда его гармонических тонов (обертонов), которые и определяют так называемую окраску или тембр звука. Высшие гармонические обертоны являются кратными по частоте основному тону. Окраска звука определяется числом и интенсивностью гармоник. Амплитуды обертонов обычно достигают лишь доли амплитуды основного тона. Лишь в некоторых случаях, например у звуков гобоя, высшие гармонические составляющие превышают амплитуду основного тона.

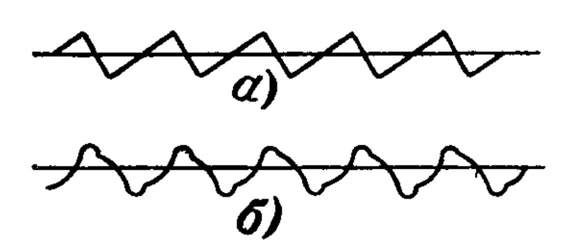


Рис. 3. Характер колебаний, создаваемых скрипкой и роялем.

Музыкальные звуки одинаковой частоты, но разного тембра отличаются друг от друга только очертаниями звуковой волны, причем ее длина остается постоянной (рис. 3). Кривой *а* в несколько упрощенном виде изображен характер колебаний определенного тона, полученного на скрипке, кривой *б* — тот же тон, воспроизведенный на рояле. Характер музыкального звука, кроме того, в сильной степени зависит от нестационарных процессов в начале звука.

В музыке тональная шкала содержит 8 октав основных тонов в диапазоне частот от 16,5 до 4 224 *гц*. Однако обертоны некоторых музыкальных инструментов имеют частоты порядка 16 000 *гц* (см. таблицу рис. 4). Эти данные и определяют требования к частотному диапазону электроакустических устройств для неискаженного воспроизведения музыки.

Речь. Гласные звуки разговорной речи или пения являются периодическими повторными процессами, содержа-

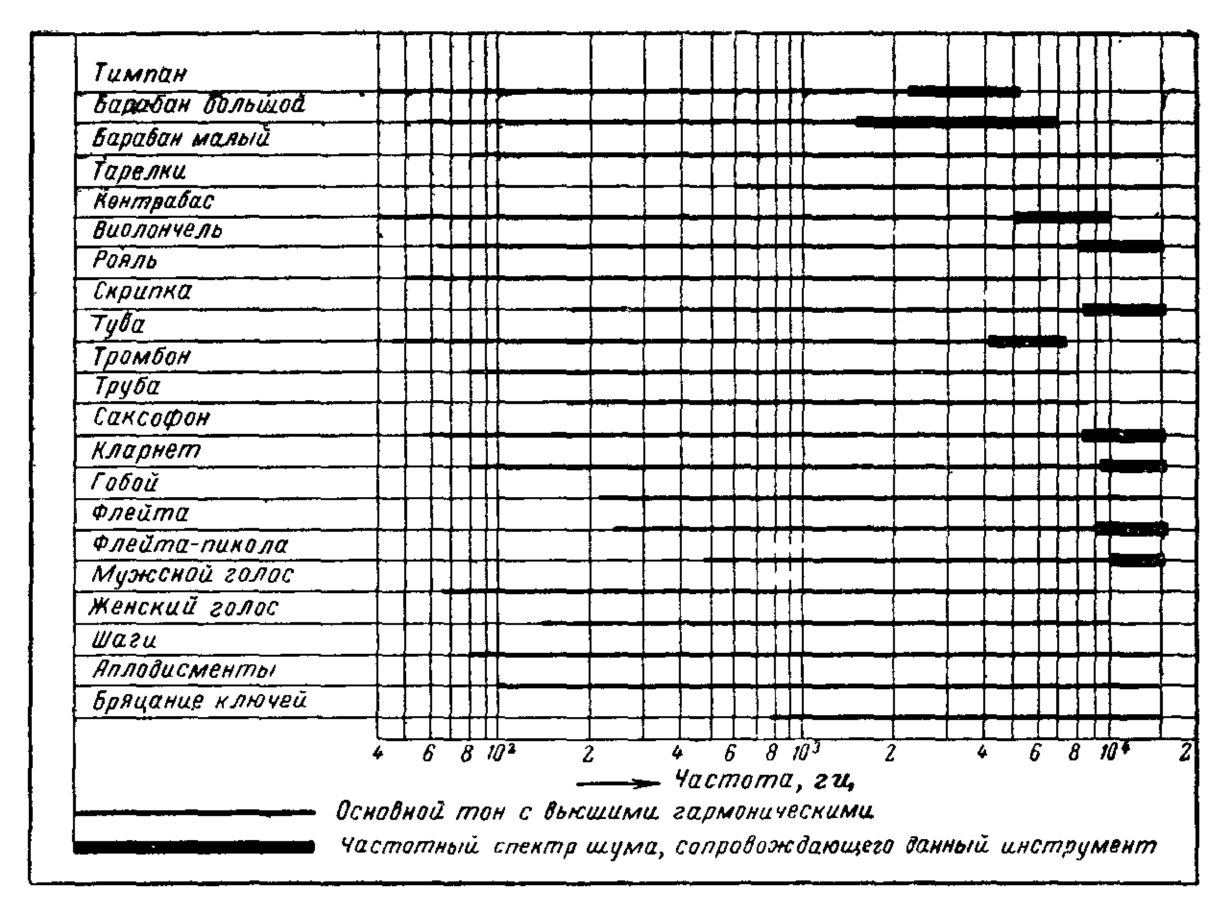


Рис. 4. Частотный диапазон музыкальных инструментов, голосов и шумов.

шими нестационарные явления. Высота основного тона (сопрано, альт, тенор, бас) определяется колебаниями голосовых связок. Резонанс полости рта усиливает определенные обертоны, которые вместе с основным тоном и создают гласный звук. Надо заметить, что полость рта для каждой гласной формируется по-иному. Возникающие обертоны, так называемые форманты, имеют очень большое значение для разборчивости речи.

Для точного объяснения процессов, создающих гласные звуки, были предложены две теории. Одна из них предполагает, что комплексный (сложный) тон исходит из гортани уже с содержанием обертонов и полость рта усилит лишь те гармонические колебания, которые соответствуют резонансной частоте полости рта. Остальные колебания затухают и подавляются. Вторая теория считает, что гортань создает ряд коротких импульсов, возбуждающих воздух в полости рта. Так как эти импульсы периодические, то они в сущности являются тоже звуком, состоящим из гармонических тонов.

С о г л а с н ы е з в у к и являются непериодическим звуковым шумом, содержащим основной тон, ф о р м а н т ы и

непостоянные составляющие. Последние создаются завихрениями воздуха, проходящего через органы артикуляции. Шепот, например, не содержит основного тона, а лишь форманты, но и их достаточно, чтобы понять содержание произносимого. Частотный диапазон голосов также приведен на рис. 4.

Сила звука г л а с н ы х з в у к о в больше, чем согласных, причем разница получается довольно значительная —

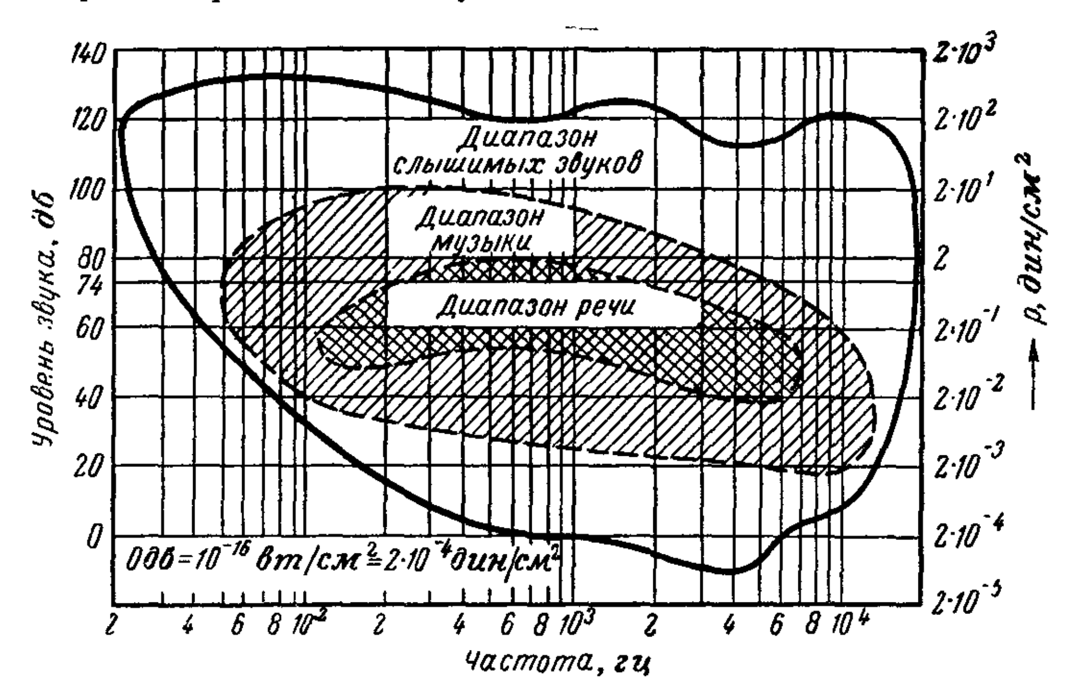


Рис. 5. Область слышимых звуков.

в обычной разговорной речи до 45 *дб*, при возбужденной речи — до 65 *дб*. Такой широкий диапазон доставляет немало трудностей при записи и воспроизведении разговора.

Шум является смесью непериодических звуков разной силы с немузыкальным соотношением составляющих и даже с переменными частотами. Звук шума воспринимается как помеха. В зависимости от преобладающего тона шум бывает или низким, или высоким; по времени шум бывает постоянным, прерывистым или имеет вид одиночной помехи.

О б л а с т ь с л ы ш и м о с т и. Ощущение звука появляется у нас только при определенной силе звука, разной для различных частот. Ухо человека воспринимает спектр частот от 16 до 16 000 *гц*; к старости диапазон частот сужается со стороны высоких частот. Если для этого диапазона частот представить графически зависимость наименьшей силы звука, дающей еще ощущение звука, от частоты, то получим кривую порога слышимости (рис. 5).

Верхняя граница слышимости ограничена порогом болевого ощущения, т. е. такой силой звука, которая создает в ухе болевое раздражение. Порогом слышимости и порогом болевого ощущения и ограничивается область слышимости. Часть этой области используется нашим ухом при прослушивании музыки, вторая часть, более узкая, при

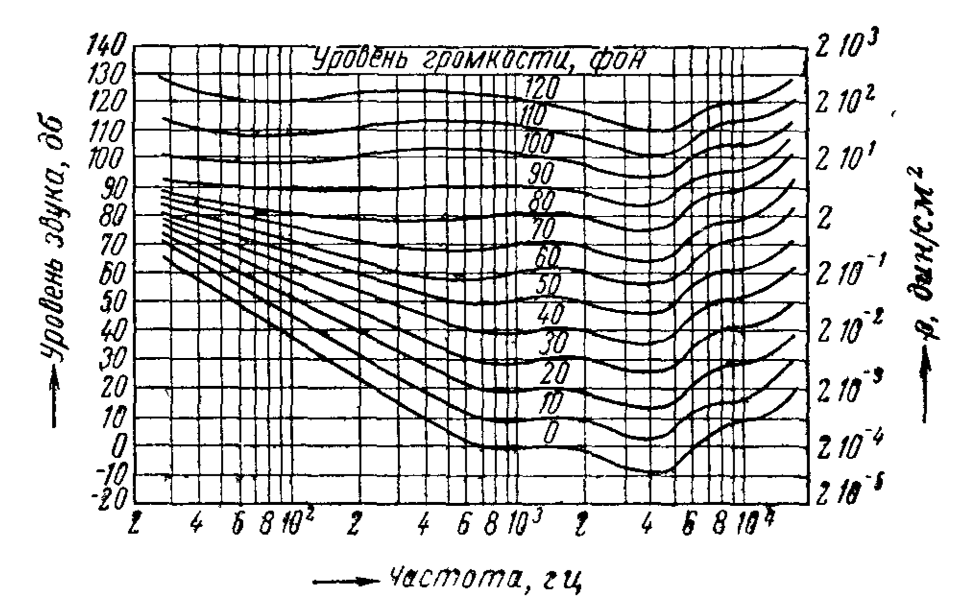


Рис. 6. Семейство кривых равной громкости.

разговорной речи. Эти области отмечены на рис. 5 штриховкой.

Громкость характеризует величину слухового ощущения и является физиологической, субъективной оценкой силы звука. Громкость звука зависит от силы звука и частоты.

Уровень громкости. Для разных частот изменение громкости происходит неравномерно. Поэтому оказалось необходимым ввести понятие «уровень громкости». При частоте 1 000 *гц* уровень громкости определяется теми же соотношениями, что и уровень звука [*дб*], т. е. уровень громкости H в фонах [*фн*] будет равен:

$$H = 10 \log \frac{I}{I_0} \ [фн],$$

где I — сила измеряемого звука;

I_0 — пороговая сила звука при частоте 1 000 *гц*.

Но так как оказалось, что два разных понятия определяются тем же соотношением, то при графическом изображении этих зависимостей (рис. 6) шкала в децибелах для уровня звука и шкала в фонах для уровня громкости отождествляются только для частоты 1 000 *гц*. Семейство кривых равной громкости (рис. 6) показывает, что для другой частоты, например 200 *гц*, звук с уровнем 40 *дб* не соответствует уровню громкости 40 *фн*, а лишь 20 *фн*. Кривые, близкие к порогу слышимости, сильно искривлены, что свидетельствует о сильной зависимости чувствительности уха от частоты при малых уровнях звука. На более высоких уровнях (около 100 *фн*) кривые равной громкости проходят почти параллельно.

Для большей наглядности приведем данные об уровне громкости в фонах для различных звуков:

0 — абсолютная тишина;	60 — шум многолюдной улицы;
10 — шум листьев;	70 — громкий крик;
20 — тиканье часов;	80 — автомобильный гудок;
30 — тихий говор;	100 — пневматический молот;
40 — обычный уровень разговора;	120 — самолет на расстоянии 3 *м*;
50 — музыкальная грамзапись;	130 — порог болевого ощущения.

Чувствительность уха к колебаниям частоты. Важной особенностью человеческого уха является его способность реагировать на незначительные изменения высоты тона. При воспроизведении звуков появляется эффект колебаний частоты и вибрация. Если данная частоты изменяется в пределах 0—8 *гц*, то это ощущается ухом как неприятное «качание» частоты. Более быстрые изменения частоты воспринимаются как вибрация частоты, или «тремоло». Оба эти эффекта особенно ощущаются при длительных тонах и особенно заметны в области наибольшей чувствительности уха у частот от 3 000 до 5 000 *гц*.

3. Электроакустика

Электроакустические устройства для передачи звуковых сигналов или воспроизведения звукозаписи в процессе передачи несколько изменяют первоначальный звуковой сигнал, т. е. вносят искажения.

Частотные искажения появляются за счет того, что усиление (или ослабление) сигнала в данном устройстве не остается постоянным для разных частот. Искажения, вносимые любым устройством, можно характеризовать непостоянством соотношения входного и выходного напряжений сигнала при изменении частоты входного сигнала.

Характер частотных искажений можно проследить по так называемой частотной характеристике (иногда ее называют характеристикой затухания), показывающей зависимость усиления (затухания) от частоты.

Обычно применяемые единицы усиления или ослабления получаются как логарифмы отношения двух величин (напряжения или тока). Если применяется лографим десятичный, то единица усиления называется бел, при натуральном логарифме единица называется непер. Сказанное можно записать в следующем виде:

$$b = 20 \log \frac{U_1}{U_2} \, [\partial б],$$

где U_1 — входное напряжение;

U_2 — выходное напряжение, или наоборот.

Фазовые искажения возникают в результате непостоянства временно́го сдвига между выходным и входным напряжениями в пределах передаваемого диапазона частот. Фазовые искажения сказываются незначительно лишь при однонакальной передаче, при стереофонической передаче они должны быть сведены до минимума.

Под общее название **нелинейные искажения** относят искажения гармонические и интермодуляционные.

Искажения гармонические (или искажения формы сигнала) возникают при передаче сигнала через нелинейную систему, у которой выходной сигнал (напряжение) не является линейной функцией входного. Если на вход такой системы подвести синусоидальный сигнал, то на выходе в составе сигнала окажутся гармонические частоты, ранее отсутствовавшие. Их наличие изменяет форму звуковой волны на выходе устройства. Ухо очень чувствительно к гармоническим искажениям, так как они нарушают естественность звучания.

Так как этот вид искажений появляется при магнитной звукозаписи, то рассмотрим более подробно искажения, вносимые в синусоидальный сигнал второй и третьей гармоникой с учетом сдвига по фазе. Графически это показано на рис. 7. Амплитуды второй и третьей гармоник взяты равными половине амплитуды основной частоты. В столбце *A* показаны искажения, вносимые второй гармоникой, в столбце *B* — третьей гармоникой. Начальный сдвиг по фазе φ между колебаниями соответственно равен нулю на рис. 7,*а*; $\varphi = \frac{\pi}{8}$ в случае рис 7,*б* и $\varphi = \frac{\pi}{4}$ на рис. 7,*в*. Форма результирующей кривой всегда искажена, но бывает симметричной и несимметричной. При искажениях, вносимых второй гармоникой, симметричная форма волны получается только в случае начального нулевого

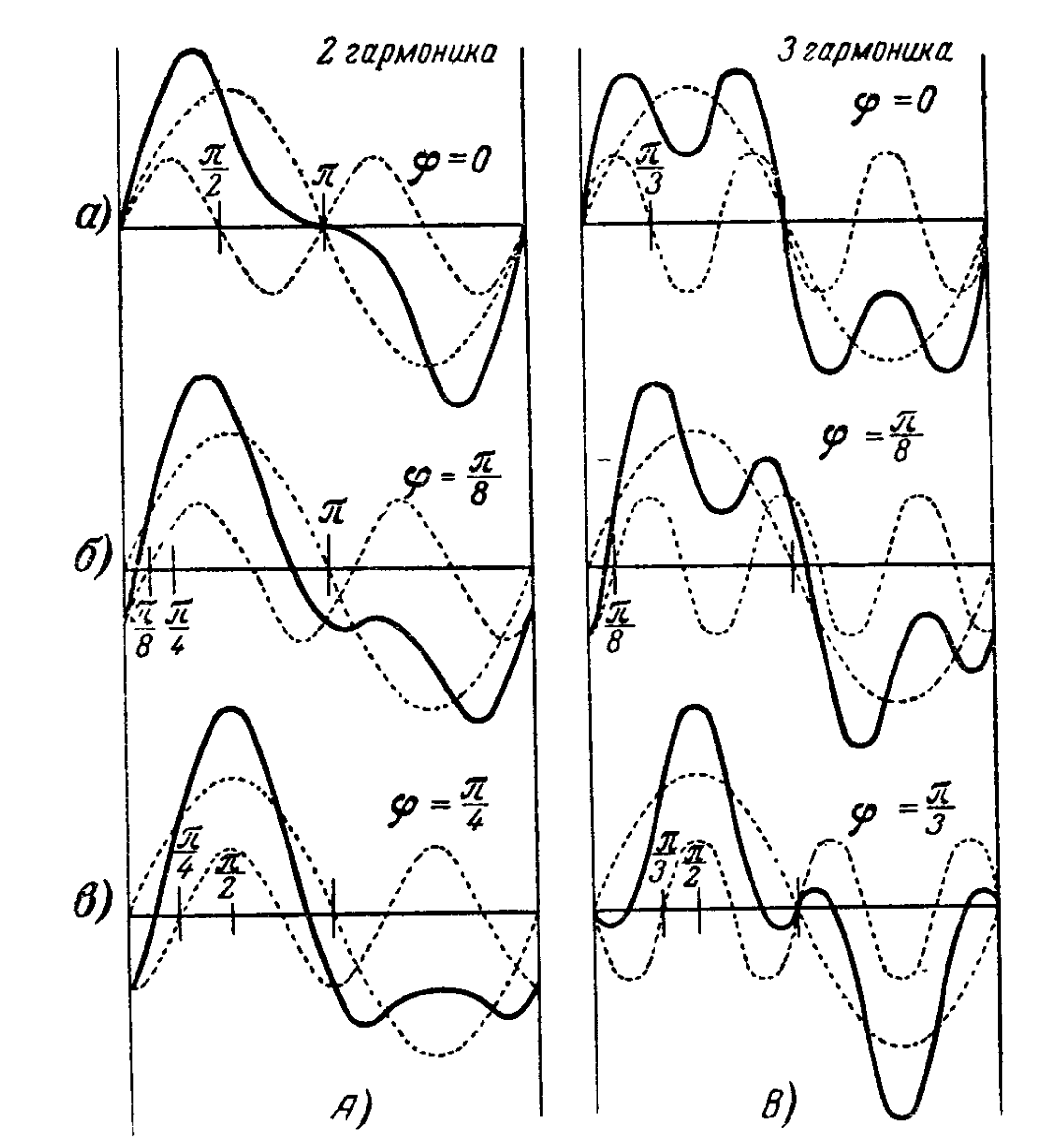


Рис. 7. Искажения, вносимые второй и третьей гармониками.

сдвига по фазе (рис. 7,*A*). Искажения кривой от третьей гармоники всегда дают симметричную кривую независимо от сдвига фаз (рис. 7,*B*).

Мерой гармонического искажения принято считать отношение эффективного значения суммы гармонических составляющих на выходе устройства к эффективному значению общего выходного напряжения. Коэффициент гармонических искажений в процентах (клирфактор)

$$k = \frac{\sqrt{U_2^2 + U_3^2 + U_4^2 + \dots}}{\sqrt{U_1^2 + U_2^2 + U_3^2 + U_4^2 + \dots}} \cdot 100 \, [\%],$$

где U_1 — напряжение основной синусоидальной составляющей;

U_2, U_3, U_4 — напряжения гармонических составляющих.

Часто вместо общего выходного напряжения учитывается только основная синусоидальная составляющая:

$$k = \frac{\sqrt{U_2^2 + U_3^2 + U_4^2 + \dots}}{U_1} \cdot 100\ [\%].$$

Интермодуляционные искажения также появляются за счет нелинейности звуковоспроизводящих устройств, т. е. по тем же причинам, что и гармонические искажения. Но возникают они лишь тогда, когда на вход нелинейного устройства подается сложный сигнал, состоящий не менее чем из двух синусоидальных колебаний. В этом случае на выходе появляются комбинационные частоты, равные сумме или разности подаваемых частот (биения). Степень искажения определяется соотношением эффективного напряжения некоторых комбинационных частот к эффективному напряжению одной из подводимых частот.

При передаче музыки или разговорной речи через звуковоспроизводящее устройство проходит сложный сигнал с широким спектром частот. За счет нелинейности устройства на выходе появляются не только гармонические, но и интермодуляционные искажения. Комбинационные частоты в музыке создают диссонанс, в разговорной речи — ухудшают разборчивость. Практически наш слух труднее различает небольшие гармонические искажения, чем искажения интермодуляционные. К этому виду искажений, следовательно, надо относиться особо внимательно при обследовании звуковоспроизводящих устройств.

Динамический диапазон определяется соотношением полезного эффективного напряжения сигнала к паразитному (шумовому) эффективному напряжению на выходе устройства. Динамический диапазон выражается в децибелах и является важным параметром при оценке

Таблица 1

Вид передачи или записи	Динамический диапазон, *дб*
Прямое воспроизведение с микрофона	75
Магнитная запись	60
Запись на восковую матрицу	50
Фотографическая запись на пленку	40
Граммофонная пластинка	30
Долгоиграющая пластинка	40

разных звуковоспроизводящих устройств. Динамические диапазоны некоторых устройств приведены в табл. 1.

Из таблицы видно, что ни один способ передачи или записи не сохраняет естественного динамического диапазона в 130 *дб*.

ГЛАВА ВТОРАЯ

ОСНОВЫ МАГНЕТИЗМА

В данной главе кратко изложены основные понятия в области магнетизма, поскольку они необходимы для понимания магнитной записи звука. В системе единиц магнитных величин нет такой целостности, как в системе единиц электрических величин. Наряду с международно признанной практической системой единиц МКСА (метр, килограмм, секунда, ампер) все еще применяется абсолютная система CGS (сантиметр, грамм, секунда). В табл. 2 поэтому приводится сводка магнитных величин и единиц в обеих системах.

4. Магнитное поле

Электрический ток, проходящий по проводнику, возбуждает вокруг него магнитное поле, силовые линии которого расположены по концентрическим кругам в плоскости, перпендикулярной направлению проводника (рис. 8). Силовая линия является замкнутой кривой, причем касательная к любой точке этой кривой определяет направление действия магнитного поля в этой точке.

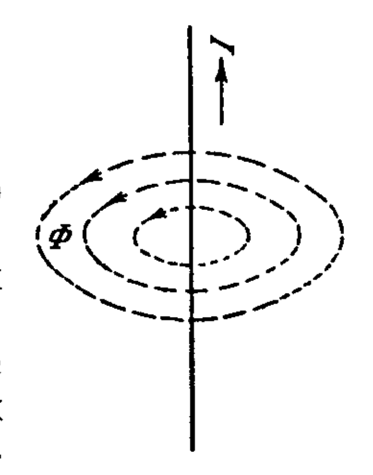


Рис. 8. Магнитное поле вокруг проводника с током.

Если пропустить электрический ток через цилиндрическую катушку, то в возникшем магнитном поле силовые линии будут иметь форму замкнутых петель, проходящих внутри и вне катушки, причем густота силовых линий внутри самой катушки будет больше, чем во внешнем пространстве. Если через катушку пропустить переменный ток, то соответственно изменениям тока будет меняться и магнитное поле. Точно так же как в электрической цепи под действием электродвижущей силы возникает электрический ток, так и в магнитной цепи под действием магнитодвижущей силы возникает магнитный поток.

Таблица 2

Магнитные величины и единицы измерения в практической и абсолютной системах единиц

Название величины	Обозначение величины	Система МКСА: Единица	Система МКСА: Обозначение единицы	Система МКСА: Основные соотношения	Система CGS: Единица	Система CGS: Обозначение единицы	Система CGS: Основные соотношения	Пересчет единиц: из CGS в МКСА	Пересчет единиц: из МКСА в CGS
Магнитный поток	Φ	Вебер (*в·сек*)	*вб*	$\Phi=\frac{F}{R_m}$	Максвелл	*мкс*	$\Phi=\frac{F}{R_m}$	1 *мкс* = 10^{-8} *вб*	1 *вб* = 10^{8} *мкс*
Магнитная индукция	B	Тесла $\left(\frac{в\cdot сек}{м^2}\right)$	$\frac{в\cdot сек}{м^2}$	$B=\frac{\Phi}{S}=\mu H$	Гаусс	*гс*	$B=\frac{\Phi}{S}=\mu H$	1 *гс* = 10^{-4} *в сек/м²*	1 *в сек/м²* = 10^{4} *гс*
Магнитодвижущая сила	F	Ампер-виток	*ав*	$F=NI$	Гильберт	*гб*	$F=\frac{4\pi}{10}NI=$ $=1{,}257NI$	1 *гб* = $\frac{10}{4}$ *ав* = 0,796 *ав*	1 *ав* = $\frac{4}{10}$ *гб* = 1,257 *гб*
Напряженность магнитного поля	H	Ампер-виток на метр	*ав/м*	$H=\frac{B}{\mu}=\frac{F}{l}=$ $=\frac{NI}{l}$	Эрстед	*э*	$H=\frac{B}{\mu}=\frac{F}{l}=$ $=\frac{4\pi}{10}NI$	1 *э* = $\frac{10^3}{4}$ *ав/м* = 79,6 *ав/м*	1 *ав/м* = $\frac{4}{10^3}$ *э* = 0,01257 *э*
Магнитное сопротивление	R_m	Ампер-виток на вебер	*ав/вб*	$R_m=\frac{F}{\Phi}=\frac{l}{\mu S}$	Гильберт на максвелл	*гб/мкс*	$R_m=\frac{F}{\Phi}=\frac{l}{\mu S}$	1 *гб/мкс* = $\frac{10^9}{4}$ *ав/вб* = = $0{,}796\cdot10^{3}$ *ав/вб*	1 *ав/вб* = $\frac{4}{10^9}$ *гб/мкс* = = $1{,}257\cdot10^{-8}$ *гб/мкс*
Магнитная проводимость	P	Вебер на ампер-виток	*вб/ав*	$P=\frac{1}{R_m}=\frac{\mu S}{l}$	Максвелл на гильберт	*мкс/гб*	$P=\frac{1}{R_m}\quad\frac{\mu S}{l}$	1 *мкс/гб* = $\frac{4}{10^9}$ *вб/ав* = = $1{,}257\cdot10^{-8}$ *вб/ав*	1 *вб/ав* = $\frac{10^9}{4}$ *мкс/гб* = = $0{,}796\cdot10^{8}$ *мкс/гб*
Проницаемость	μ	Генри на метр	*гн/м*	$\mu=\mu_0\mu_r$	1	—	—	—	—
Проницаемость вакуума	μ_0	Генри на метр	*гн/м*	$\mu_0=4\pi\ 10^{-7}=$ $=1{,}257\cdot10^{-6}$	—	—	$\mu_0=1$	—	—
Проницаемость относительная	μ_r	1	—	$\mu_r=\frac{\mu}{\mu_0}$	—	—	—	—	—

5. Сводка магнитных величин

Намагничивающая сила F является причиной возникновения магнитного поля. Она определяется произведением силы тока и числа витков, и в системе единиц МКСА единицей ее измерения служит 1 ампер-виток [*ав*].

Напряженность магнитного поля H определяется величиной намагничивающей силы на единицу длины пути. В системе МКСА единицей считается 1 ампер-виток на метр [*ав/м*].

Магнитный поток Ф определяется числом силовых линий, пересекающих определенную площадь. В системе МКСА единицей магнитного потока служит 1 вебер [*вб*], но наряду с этим названием применяется и название вольт-секунда [*в·сек*].

Магнитная индукция B определяется величиной магнитного потока через единицу площади. В системе МКСА единицей магнитной индукции считается 1 тесла [T], равный 1 вебер на $м^2$ [$вб/м^2$].

Проницаемость μ определяется отношением магнитной индукции к напряженности магнитного поля H, т. е. $\mu=\frac{B}{H}$. В системе практических единиц МКСА проницаемость μ определяется произведением проницаемости вакуума μ_0 и проницаемости относительной μ_r, т. е. $\mu = \mu_0\mu_r$. Величина проницаемости вакуума μ_0, измеряемая в единицах генри на метр [*гн/м*], равна:

$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} = 1{,}257 \cdot 10^{-6} \; [гн/м].$$

Относительная проницаемость μ_r — безразмерное число, определяющее, во сколько раз магнитная проницаемость данного материала больше, чем вакуума.

Сопротивление магнитной цепи R_m определяется отношением намагничивающей силы F к магнитному потоку Ф, т. е. $R_m = \frac{F}{\Phi}$. В системе МКСА единицей считается 1 ампер-виток на вебер—[*ав/вб*].

Магнитная проводимость P является обратной величиной сопротивления магнитной цепи, т. е. $P=\frac{1}{R_m}$.

6. Парамагнитные, диамагнитные и ферромагнитные материалы

По магнитным свойствам все материалы можно разделить на три группы.

Парамагнитные материалы имеют относительную проницаемость μ_r незначительно больше единицы (например, платина, таллий, алюминий).

Диамагнитные материалы имеют относительную проницаемость несколько меньше единицы (например, медь, цинк, золото, серебро).

Ферромагнитные материалы имеют относительную проницаемость μ_r во много раз больше единицы причем величина ее зависит от напряженности магнитного поля H (например, железо, никель, кобальт).

7. Гистерезис

Зависимость магнитной индукции B от напряженности магнитного поля H можно представить для ферромагнитного материала петлеобразной кривой, называемой петлей гистерезиса (рис. 9). При намагничивании предварительно размагниченного образца полем, возрастающим от нулевого значения до величины $+H_{макс}$, магнитная индукция также возрастает от нулевого значения до величины $+B_{макс}$ по кривой, называемой начальной кривой намагничивания (на рис. 9 она показана штриховой линией). В точке $+B_{макс}$ материал достигает магнитного насыщения.

При дальнейшем увеличении напряженности магнитного поля сверх значения $+H_{макс}$ возрастание величины магнитной индукции B происходит очень медленно, так же как для воздушного пространства.

При уменьшении напряженности магнитного поля уменьшение магнитной индукции B происходит не вдоль начальной кривой намагничивания $+B_{макс} \to 0$, а по новой кривой $+B_{макс} \to +B_{r\,макс}$, так что при нулевом значении поля H_0 индукция имеет остаточное значение $+B_{r\,макс}$. Это так называемая максимальная остаточная индукция, сохранившаяся в материале и после выключения внешнего магнитного поля. Для устранения остаточной индукции $+B_{r\,макс}$ оказывается необходимым изменить направление магнитного поля на обратное первоначальному полю, которое ранее привело материал к насыщению.

Напряженность магнитного поля, необходимая для устранения остаточной индукции $+B_{r\,\text{макс}}$, принято называть задерживающей или **коэрцитивной силой** H_c. Величина H_c определяется расстоянием точки пересечения кривой индукции с осью H от начала координат. Величины

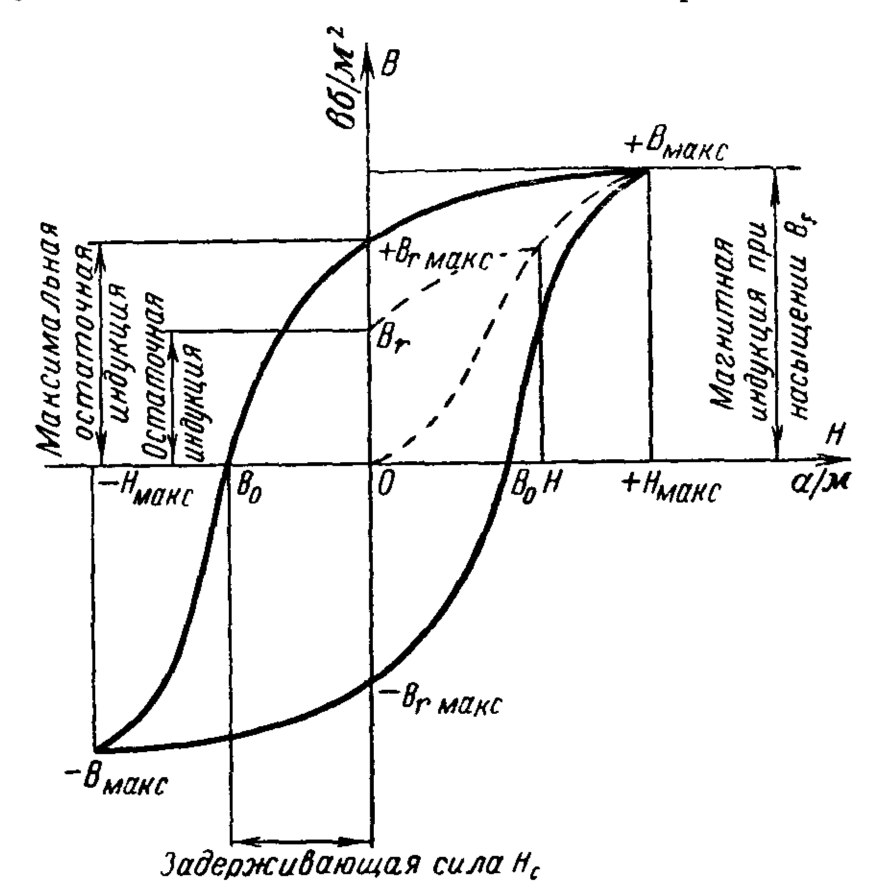


Рис. 9. Петля гистерезиса.

остаточной магнитной индукции и задерживающей силы являются характерными параметрами для магнитных материалов и, в частности, для звуконосителя.

В течение одного полного цикла намагничивания, т. е. при изменении магнитного поля в пределах $+H_{\text{макс}} \rightarrow H_0 \rightarrow \rightarrow -H_{\text{макс}} \rightarrow H_0 \rightarrow H_{\text{макс}}$, характер изменения магнитной индукции определяется замкнутой кривой, проходящей через точки $+B_{\text{макс}} \rightarrow B_{r\,\text{макс}} \rightarrow B_0 \rightarrow -B_{\text{макс}} \rightarrow B_{r\,\text{макс}} \rightarrow B_0 \rightarrow B_{\text{макс}}$. Эта кривая называется **петлей гистерезиса**.

У ферромагнитных материалов остаточная магнитная индукция зависит не только от напряженности магнитного поля, действующего на материал, но и магнитного состояния, в котором находился материал до воздействия на него магнитного поля (рис. 10). Напряженность магнитного поля H_2, действующая в течение некоторого времени на

предварительно размагниченный материал, создает в нем остаточную индукцию B_{r2}. Если же до воздействия поля материал был предварительно доведен до насыщения магнитным полем с напряженностью $-H_{\text{макс}}$, то поле с напряженностью H_2 создаст в материале остаточную индукцию B'_{r2}.

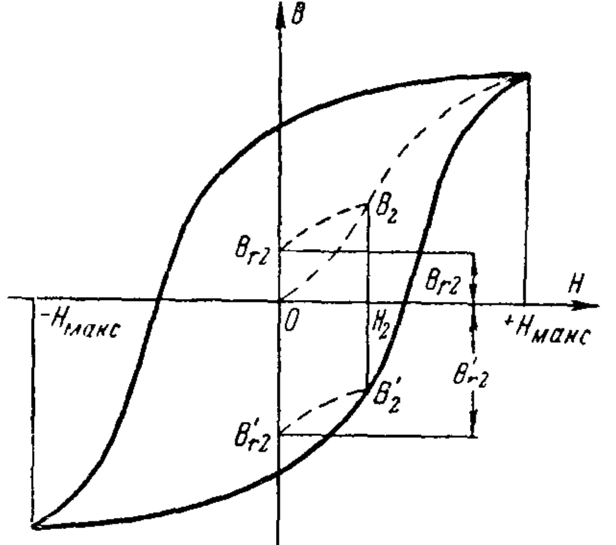


Рис. 10. Зависимость остаточной индукции от предшествующего магнитного состояния ферромагнитного материала

8. Ферромагнитные материалы

Ферромагнитные материалы по их магнитным свойствам можно разделить на твердые и мягкие.

Магнитотвердые материалы имеют большую задерживающую (коэрцитивную) силу и соответственно широкую петлю гистерезиса. Отличаются большим постоянством магнитных свойств. Применяются для изготовления постоянных магнитов и звуконосителей.

Магнитомягкие материалы, напротив, имеют незначительную задерживающую силу и большую проницаемость. Петля гистерезиса у них узкая; магнитное насыщение наступает при незначительной напряженности магнитного поля. Такие материалы используются для сердечников трансформаторов, сердечников магнитных головок и т п

9. Потери на гистерезис

При переменном намагничивании ферромагнитных материалов в них возникают потери за счет **гистерезиса**, так как изменения магнитной индукции B всегда запаздывают по сравнению с изменениями напряженности поля H, намагничивающей данный материал. Потери на гистерезис за один период намагничивания пропорциональны площади петли гистерезиса, т. е. они тем меньше, чем уже петля и чем ниже частота намагничивания. При больших значениях магнитной индукции потери на гистерезис приблизительно пропорциональны второй степени значения индукции. Энергия потерь на гистерезис превращается в тепло

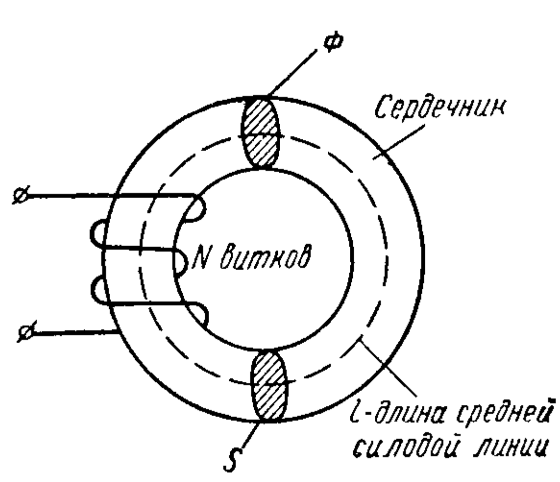


Рис. 11. Электромагнитная цепь.

10. Электромагнитная цепь

Электромагнитную цепь можно представить в виде железного сердечника с надетой на него катушкой из N витков (рис. 11).

Для электромагнитной цепи действителен закон, схожий с законом Ома для электрической цепи, по которому намагничивающая сила F равна:

$$F = R_m \Phi \ [ав;\ ав/вб;\ вб],$$

где R_m — сопротивление магнитной цепи;
Φ — магнитный поток.

Три основные величины в приведенном выше уравнении можно порознь выразить так: намагничивающая сила

$$F = NI,$$

где N — число витков катушки;
I — ток в ней, a;
сопротивление магнитной цепи

$$R_m = \frac{1}{\mu S} = 0{,}796 \cdot 10^6 \frac{l}{\mu_r S} \ [ав/вб;\ м;\ м^2],$$

где l — длина средней силовой линии, $м$,
S — площадь сечения сердечника, $м^2$;
магнитный поток

$$\Phi = BS = \mu HS \ [вб;\ вб/м^2;\ м^2;\ гн/м;\ ав/м;\ м^2],$$

где S — площадь сечения сердечника, $м^2$.

Из приведенных зависимостей можно далее получить:

$$\Phi = \frac{F}{R_m} = \frac{NI}{R_m} = NI \frac{\mu S}{l} \ [вб;\ а;\ м;\ гн/м;\ м].$$

Во всех уравнениях принято, что проницаемость

$$\mu = \mu_0 \mu_r = 4\pi \cdot 10^{-7} \mu_r = 1{,}257 \cdot 10^{-6} \mu_r \ [гн/м].$$

Так как проницаемость ферромагнитных материалов зависит от напряженности магнитного поля H, то ею же определяется и величина сопротивления магнитной цепи R_m. Для расчета магнитной цепи необходимо, следовательно, знать зависимость проницаемости μ от напряженности поля H.

Низкочастотные трансформаторы обычно работают при очень низкой напряженности магнитного поля в области начальных значений проницаемости μ_p, т. е. относительной проницаемости при $B = 0$; $H = 0$.

Включение различных сопротивлений в магнитную цепь подчиняется тем же законам, что и включение сопротивлений в электрической цепи. При параллельном включении скадываются магнитные проводимости, при последовательном—складываются магнитные сопротивления.

Для примера рассмотрим кольцевой сердечник, в котором длина средней силовой линии $l = 10$ $см$, площадь сечения $S = 1$ $см^2$ и начальная проницаемость $\mu_p = 10\,000$. Сердечник, кроме того, имеет воздушный зазор $l_B = 1$ $мм$. Определим для сердечника общее магнитное сопротивление при $H = 0$; $B = 0$.

Магнитное сопротивление в железе сердечника

$$R_{mc} = \frac{l_c}{\mu_0 \mu_p S} =$$

$$= 0{,}796 \cdot 10^6 \cdot \frac{10^{-1}}{10^4 \cdot 10^{-4}} = 0{,}0796 \cdot 10^6 \ [ав/вб];$$

магнитное сопротивление воздушного зазора в сердечнике без учета рассеяния, будет:

$$R_{mB} = \frac{l_B}{\mu_0 S} = 0{,}796 \cdot 10^6 \cdot \frac{10^{-3}}{10^{-4}} = 0{,}796 \cdot 10^7 \ [ав/вб].$$

Следовательно, воздушный зазор, длина которого равняется только $^1/_{100}$ длины сердечника, имеет магнитное сопротивление в 100 раз большее, чем сердечник. Так как общее сопротивление магнитной цепи равно сумме сопротивления, то

$$R_m = R_{mc} + R_{mB} = (0{,}00796 +$$

$$+ 0{,}796) \cdot 10^7 = 0{,}804 \cdot 10^7 \ [ав/вб].$$

Для всех материалов, кроме ферромагнитных, проницаемость очень близка к единице, т. е. они являются проводящими в магнитной цепи. Магнитной проводимостью обладает и вакуум, так как для него $\mu_r = 1$. Таким образом,

для магнитного потока не существует изоляторов, напоминающих нам свойства электрических изоляторов. В любой магнитной цепи часть магнитного потока рассеивается, образуя поле магнитного рассеяния. Магнитное рассеяние затрудняет точное определение величины сопротивления магнитного пути. В воздушном зазоре кольцевого сердечника, о котором мы говорили выше, также возникает магнитное рассеяние, которое как бы увеличивает сечение в зазоре.

11. Влияние воздушного зазора в магнитной цепи

На рис. 12 изображена петля гистерезиса замкнутого кольцевого сердечника. Если в сердечнике сделать воздушный зазор, то петля гистерезиса сплющится (пунктирная кривая), причем степень изменения зависит от отношения длины сердечника к длине воздушного зазора в нем. Маг-

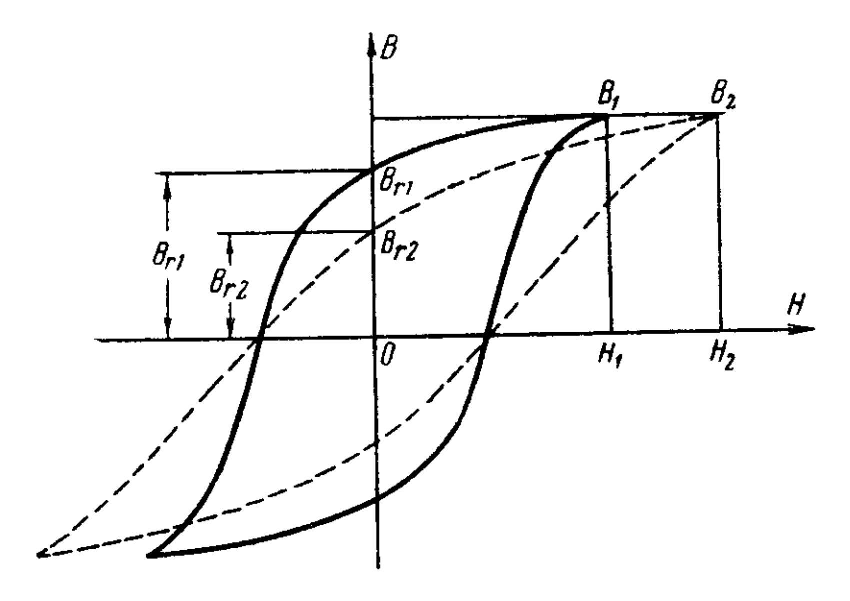


Рис. 12 Влияние воздушного зазора на характер петли гистерезиса.

нитное сопротивление воздушного зазора во много раз больше сопротивления самого сердечника. Но чем больше общее сопротивление магнитной цепи, тем меньше величина индукции $B = \frac{\Phi}{S}$ и величина магнитного потока $\Phi = \frac{F}{R_m}$.

Условия намагничивания сердечника без зазора и с ним несколько отличаются друг от друга (см. рис. 12). В первом случае напряженности магнитного поля H_1 соответствуют индукции B_1 и остаточная индукция после устранения поля B_{r1} (сплошная кривая). В случае воздушного зазора

для достижения той же индукции B_1 необходимо увеличить напряженность магнитного поля до величины H_2, и после его устранения остаточная индукция B_{r2} будет меньше, чем B_{r1} (штриховая линия). Наличие воздушного зазора в магнитной цепи спрямляет петлю гистерезиса и делает более линейной зависимость между напряженностью магнитного поля и индукцией.

12. Электромагнитная индукция

Магнитный поток Φ, пронизывающий катушку с N витками, при каждом своем изменении индуктирует в ней мгновенную электродвижущую силу

$$e = -\frac{d(N\Phi)}{dt} [в;\ вб;\ сек],$$

где N — число витков катушки;
Φ — магнитный поток, проходящий через катушку;
t — время.

Выражение $N\Phi$ называется потоком сцепления и равняется сумме всех потоков, пересекающих отдельные витки. Это понятие вводится потому, что весь магнитный поток не всегда пересекает все витки. Если, например, в катушке из трех витков через первый проходит поток Φ_1, через второй Φ_2, через третий Φ_3, то поток сцепления равен:

$$N\Phi = \Phi_1 + \Phi_2 + \Phi_3.$$

Если допустить, что магнитный поток будет одинаковым для любого витка катушки из N витков, то индуктированная э. д. с. будет:

$$e = -N\frac{d\Phi}{dt} [в;\ вб;\ а],$$

где N — число витков;
$\frac{d\Phi}{dt}$ — мгновенное изменение магнитного потока.

Если к концам катушки подключить нагрузку, то общее активное сопротивление R образовавшейся замкнутой электрической цепи будет равно сумме активных сопротивлений катушки и нагрузки.

По этой цепи пойдет мгновенный ток

$$i = -\frac{R}{N} \cdot \frac{d\Phi}{dt} [а;\ ом;\ вб;\ сек],$$

причем знак минус означает, что индуктированный ток действует навстречу изменениям магнитного потока. Если магнитный поток возрастает, то направление индуктированного им тока таково, что он создает магнитный поток обратного направления, ослабляющий действие первоначального потока. При уменьшении магнитного потока направления индуктированного тока и тока возбуждения будут одинаковыми. Следовательно, действие поля катушки стремится удержать первоначальное значение магнитного потока или уравновесить его изменения, т. е. аналогично действию маховика.

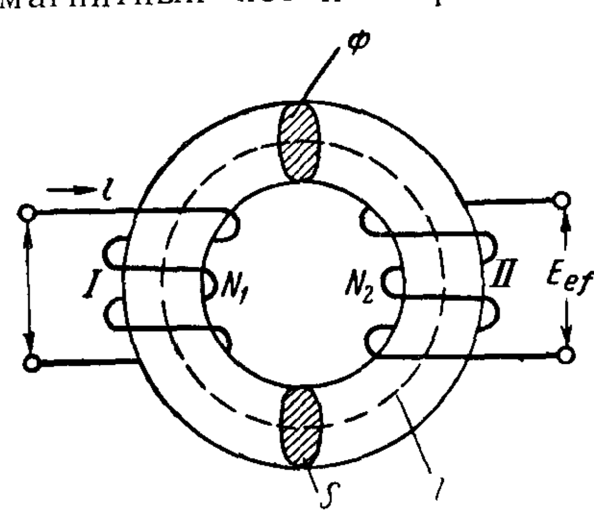


Рис. 13. Индукция э. д. с.

Возьмем для примера катушку в 1 000 витков и пропустим через нее магнитный поток Ф, равномерно изменяющийся на 0,1 *вб* за секунду. Тогда

$$\Phi = \Phi_0 - \Phi_d\, t; \quad \frac{d\Phi}{dt} = -\Phi_d,$$

где Φ_0 — начальный магнитный поток;
Φ_d — уменьшение потока за единицу времени 0,1 *вб/сек*.

В результате изменения потока индуктированная э. д. с. будет:

$$e = -N\frac{d\Phi}{dt} = -N(-\Phi_d) = 1\,000 \cdot 0{,}1 = 100 \text{ в}.$$

Если на замкнутом стальном сердечнике разместить две катушки *I* и *II* (рис. 13) с числом витков N_1 и N_2, то любое изменение тока, проходящего через катушку *I*, приведет к изменению магнитного потока в сердечнике и тем самым к наведению индуктированной э. д. с. во второй катушке.

Если ток в катушке *I* изменяется синусоидально:

$$i = I_{\text{макс}} \sin \omega t \,[a;\ a;\ сек],$$

то магнитный поток будет равен:

$$\Phi = \Phi_{\text{макс}} \sin \omega t \ [вб;\ вб;\ сек]$$

и эффективное значение индуктированной э. д. с. во второй катушке будет равно:

$$E_{\text{эфф}} = \frac{2\pi}{\sqrt{2}} N f S B_{\text{макс}} =$$

$$= 4{,}44 N f S B_{\text{макс}} \ [в;\ гц;\ м^2;\ вб/м^2].$$

Последнее уравнение является основным для расчета многих электромагнитных цепей, например трансформаторов.

В рассмотренном случае переменными величинами были ток и магнитное поле, но индуктированную э. д. с. можно получить и тогда, когда магнитное поле остается постоянным и в нем движется проводник или катушка.

Если движение проводника происходит перпендикулярно силовым линиям магнитного поля, то индуктированная э. д. с. равна:

$$e = Blv \ [в,\ вб/м^2;\ м;\ м/сек], \qquad (16)$$

где B — магнитная индукция, *вб/см*²;
l — длина проводника, *м*;
v — скорость движения *м/сек*.

Для примера рассмотрим проводник длиной $l = 10$ *см*, движущийся со скоростью $v = 10$ *м/сек* в магнитном поле с индукцией $B = 1$ *вб/м*² (т. е. 10 000 гаусс). Индуктированная э. д. с. равна:

$$e = Blv = 1 \cdot 10^{-1} \cdot 10 = 1{,}0 \text{ в}.$$

13. Самоиндукция

Вокруг катушки, по которой проходит электрический ток, всегда возникает магнитное поле, и всякие изменения тока сопровождаются изменениями поля. Эти изменения поля, воздействуя обратно на катушку, индуктируют в ней э. д. с., которая противодействует изменениям первоначального тока в катушке. Это явление называется „собственная электромагнитная индукция“ или самоиндукция.

Э. д. с. самоиндукции равна:

$$e = -L\frac{di}{dt} \,[в;\ гн;\ a;\ сек];$$

данное уравнение показывает пропорциональность между изменениями тока во времени $\left(\frac{di}{dt}\right)$ и э. д. с. (e), причем

коэффициентом пропорциональности является коэффициент L, называемый индуктивностью катушки. Электродвижущая сила самоиндукции тем больше, чем больше L и чем больше частота изменений тока.

Величина индуктивности L зависит от устройства катушки и определяется выражением

$$L = \frac{d(N\Phi)}{di},$$

где $N\Phi$ — поток сцепления.

Если проницаемость сердечника катушки можно считать постоянной, то

$$L = \frac{N\Phi}{I} \; [гн, \; вб, \; а],$$

или, подставив для Φ его значение, приведенное в § 10, получим:

$$L = \frac{N^2}{R_m}.$$

Индуктивность катушки, таким образом, прямо пропорциональна квадрату числа витков и обратно пропорциональна магнитному сопротивлению среды, пронизываемой магнитным потоком катушки.

Единицей измерения индуктивности служит 1 генри (*гн*).

Идеальная катушка индуктивности не имеет активного сопротивления, и поэтому падение напряжения на ее зажимах равно нулю, если ее питать постоянным током. Если к такой катушке подвести переменный ток, то на ней возникает индуктированное напряжение самоиндукции и катушка ведет себя как некоторое мнимое сопротивление переменному току. Обычно его называют реактивным сопротивлением и измеряют в омах. Величина реактивного сопротивления прямо пропорциональна частоте переменного тока и величине индуктивности, т. е.

$$X_L = \omega L = 2\pi f L \; [ом, \; гц, \; гн].$$

Зная реактивное сопротивление данной цепи, можно определить связь между напряжением и током в ней $U_{эфф} = X_L I_{эфф}$ [*в, ом, а*], причем в идеальной катушке (без потерь) ток отстает по фазе на четверть периода от напряжения на катушке.

14. Вихревые токи

Стальной сердечник является короткозамкнутым витком, и поэтому в переменном магнитном поле в нем индуктируется э. д. с. и возникают так называемые вихревые токи, или токи Фуко. Эти токи разогревают сердечник ухудшают его магнитные свойства и вносят потери энергии. Потери на вихревые токи зависят от величины магнитной индукции, толщины сердечника и его электрического сопротивления. Для уменьшения потерь сердечник обычно изготовляется из набора тонких взаимно изолированных листов, расположенных так, чтобы плоскость листов была расположена в направлении силовых линий магнитного поля катушки. Такая конструкция сердечника уменьшает э. д. с., индуктированную в сечении отдельных листов сердечника, и тем самым снижает потери от вихревых токов. Если сердечник состоит из N пластин или слоев, то потери на вихревые токи уменьшатся до $\frac{1}{N^2}$ первоначальной величины. На рис. 14 обозначены пути вихревых токов в сердечнике сплошном и составленном из трех изолированных слоев.

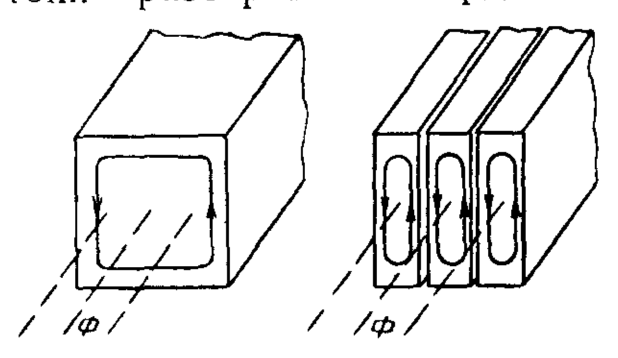


Рис. 14. Пути вихревых токов.

ГЛАВА ТРЕТЬЯ

ТЕОРИЯ МАГНИТНОЙ ЗАПИСИ И ВОСПРОИЗВЕДЕНИЯ ЗВУКА

15. Звуковая дорожка (звуковой след)

Принцип всех систем звукозаписи состоит в фиксировании звукового следа на материале движущегося звуконосителя. Амплитуда следа должна соответствовать амплитуде звукового сигнала. Если звуковое давление меняется как функция времени, то звуковой след изменяется как функция длины звуконосителя. Так, например, синусоидальное изменение звукового давления запишется как синусоидальное изменение звукового следа.

Длина волны записи зависит от скорости движения звуконосителя. Связь между длиной записанной волны λ, частотой f и поступательной скоростью v аналогична соотношению при звуковой волне, распространяющейся в воздушной среде, с той лишь разницей, что скорость звука в воздухе C заменяется поступательной скоростью звуконосителя, т. е.

$$\lambda = \frac{v}{f}.$$

Существует несколько видов звукозаписи, отличающихся характером звукового следа: запись на грампластинку, запись фотографическим способом на кинопленку, запись Филипс-Миллера и магнитная запись. При магнитной записи возможны три способа воздействия на материал звуконосителя (рис. 15). Наиболее распространенный

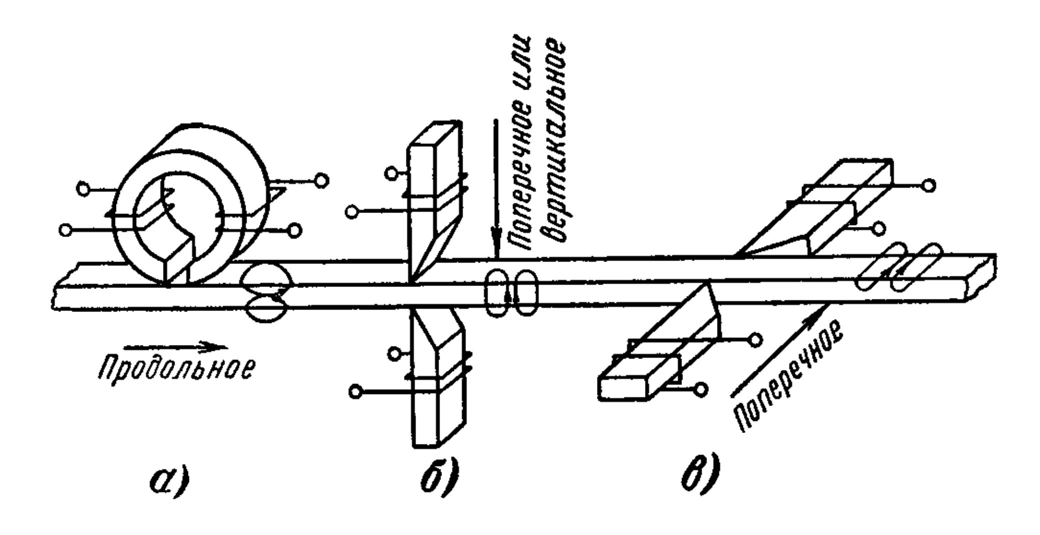


Рис 15. Три способа намагничивания звуконосителя при записи.

способ продольного намагничивания получается при применении магнитной головки кольцевого типа (рис. 15, *а*), у которой силовые линии, выходящие из зазора головки, намагничивают звуконоситель продольно в направлении его движения. При поперечном (или вертикальном) способе записи (рис. 15,*б*) направление намагничивающего поля перпендикулярно к поверхности звуконосителя. При другом способе поперечной записи магнитное поле головки направляется поперек ленты с узкой ее стороны (рис. 15,*в*). Этот способ пригоден лишь для узких звуконосителей.

16. Принцип магнитной записи

Микрофон, расположенный в звуковом поле, преобразует звуковой сигнал в электрический. После усиления этот сигнал создает переменный магнитный поток перед зазором записывающей головки. Звуковой сигнал, изменяющийся во времени, преобразуется, таким образом, в изменяющийся во времени магнитный поток, которым и производится запись.

Для этого необходимо, чтобы звуконоситель равномерно перемещался перед зазором записывающей головки Магнитные силовые линии выходят из одного полюса сер-

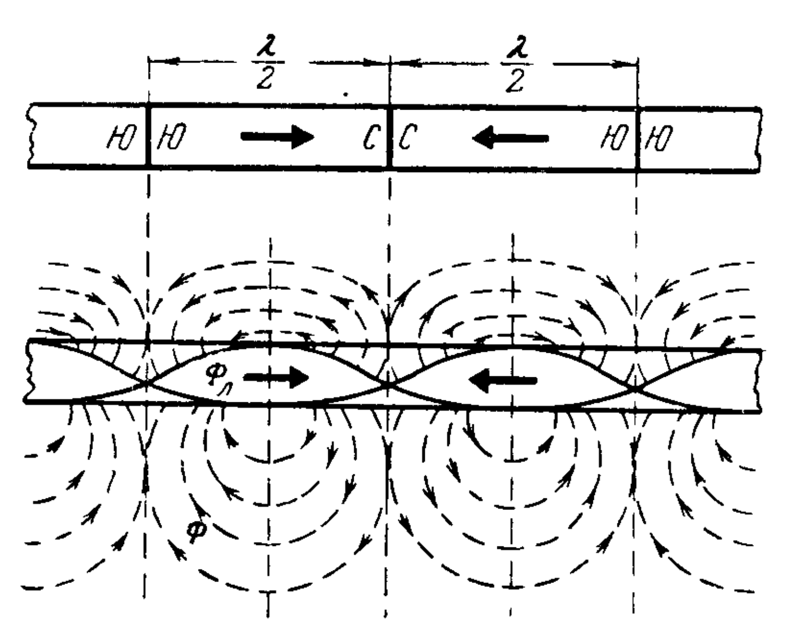


Рис. 16. Принцип магнитной записи звука.

дечника головки, входят в ферромагнитный материал звуконосителя, намагничивая его до определенной величины, и возвращаются ко второму полюсу сердечника. При выходе звуконосителя за пределы полюсов величина магнитной индукции в нем падает до значения остаточной индукции B_r, зависящей от магнитных свойств материала звуконосителя.

Явления, происходящие в звуконосителе, можно представить для случая записи синусоидального колебания с длиной волны λ в виде цепочки элементарных магнитов, ориентированных навстречу друг другу (рис. 16). Длина отдельных магнитов равна половине волны. Магнитный поток внутри ленты обозначен на рис. 16 $Ф_л$, в воздухе через Ф.

При воспроизведении записи звуконоситель перемещается с прежней скоростью перед зазором воспроизводя-

щей головки Внешний магнитный поток ленты Ф проходит через сердечник головки, обладающей меньшим магнитным сопротивлением, чем воздух, и индуктирует в обмотке головки напряжение, соответствующее изменениям в магнитном потоке ленты. Это напряжение после усиления и корректировки частотной характеристики подводится к громкоговорителю. В конструктивном отношении воспроизводящая головка схожа с записывающей

Перед каждой записью необходимо устранить остаточный магнетизм звуконосителя от предыдущей записи или, как говорят, «стереть» ее Для этого перед записывающей

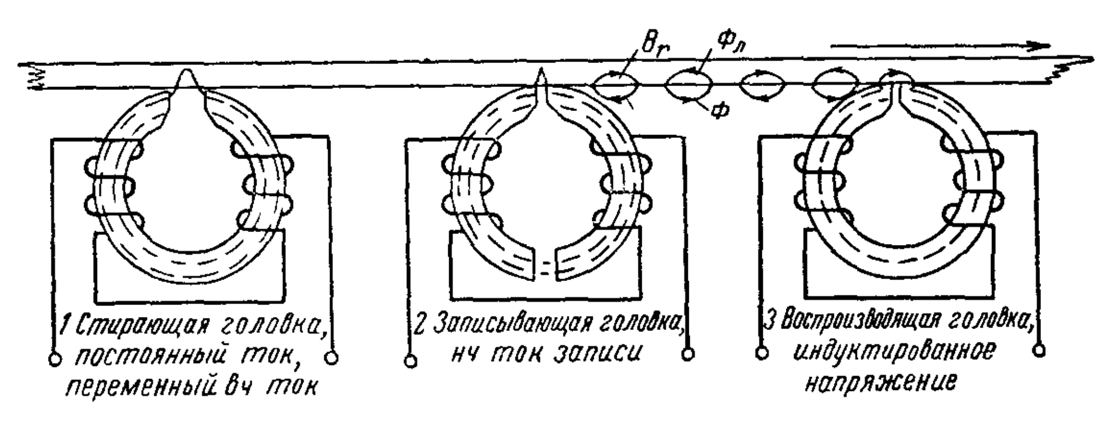


Рис. 17 Изображение магнитных процессов в ленте.

головкой располагается стирающая головка, и ненужный звуковой след старой записи устраняется или размагничиванием, или доведением звуконосителя до насыщения (рис. 17)

При размагничивании звуконоситель, проходя через переменное магнитное поле перед зазором стирающей головки, сперва намагничивается до насыщения, а затем размагничивается.

При втором способе стирания звуконоситель доводится до насыщения постоянным магнитным полем перед зазором головки. Тот же результат можно получить, использовав постоянный магнит вместо стирающей головки.

Стирание можно производить с помощью сети переменного тока с частотой 50 *гц*, пропуская его через катушку специального размагничивающего электромагнита с большим полем рассеяния. Плавный спад магнитного поля достигается в этом случае медленным перемещением такого электромагнита над звуконосителем и медленным его удалением.

Таким образом, принцип магнитной звукозаписи сам по себе очень прост. Однако в начале развития большие

трудности были связаны с устранением искажений звука за счет нелинейности кривой намагничивания звуконосителя и посторонних шумов. Применение высокочастотного подмагничивания устранило и эти недостатки, и магнитная запись стала одним из наиболее качественных способов записи звука.

Для более глубокого понимания остановимся подробнее на объяснении явлений, происходящих при записи

17. Магнитное поле головки

В настоящее время применяются головки исключительно для продольного намагничивания звуконосителя Классическим видом такой головки является головка с кольцевым сердечником, выполняемая в разных вариантах. Сердечник головки имеет незначительное магнитное сопротивление, однако в рабочем зазоре сердечника возникает магнитное рассеяние, так как сопротивление воз-

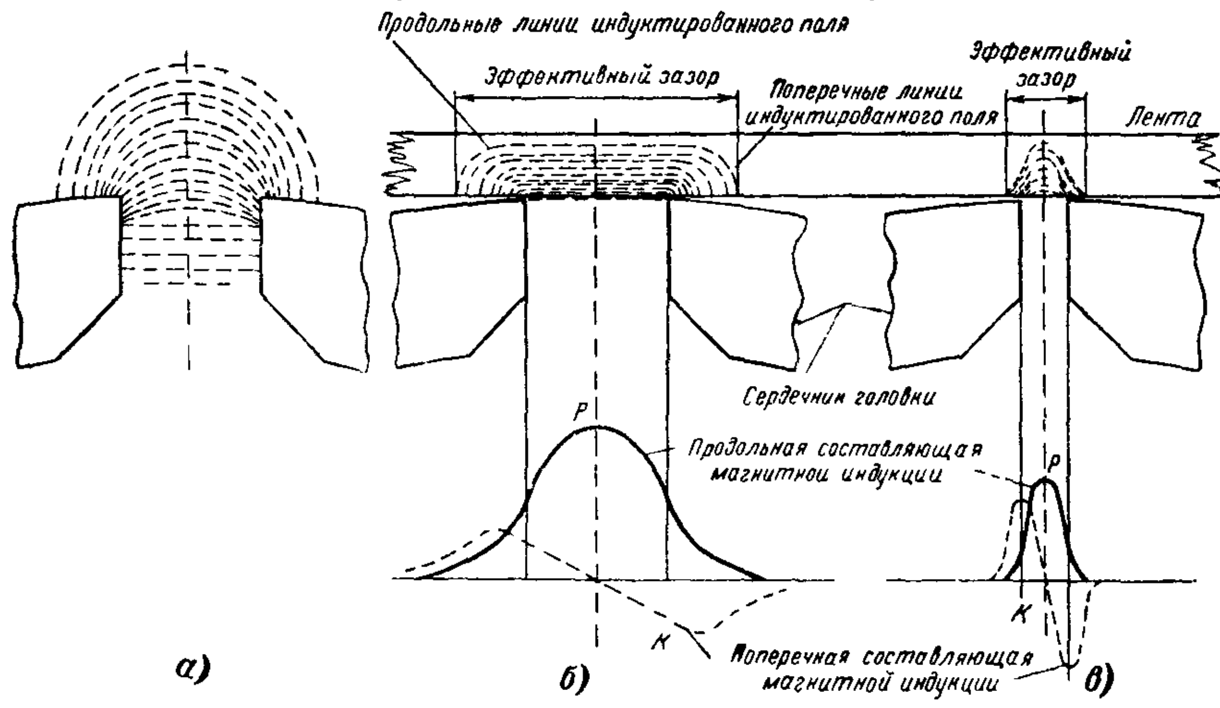


Рис. 18. Распределение магнитного поля над зазором головки без ленты и с лентой

душного зазора велико. Распределение магнитного поля над зазором головки показано на рис. 18,*а* в отсутствие ленты, и то же поле, но с лентой, на рис. 18,*б*. Силовые линии идут путем наименьшего сопротивления, т е. в материале звуконосителя

По ходу силовых линий на рис 18,*б* видно, что совместно с продольным намагничиванием появляется и попе-

речное Силовые линии идут не только вдоль зазора, но и выходя из сердечника, входят в звуконоситель перпендикулярно к его плоскости. Величина продольной составляющей магнитной индукции изображается кривой *P* (рис. 18,*б*), величина поперечной составляющей дана пунктирной кривой *K*. Исключительно продольное намагничивание получается только в центре зазора.

Поперечная составляющая магнитной индукции меньше при относительно широком зазоре (как, например, у стирающих головок), при малой ширине зазора (у записывающих головок) поперечная составляющая значительна (рис. 18,*в*).

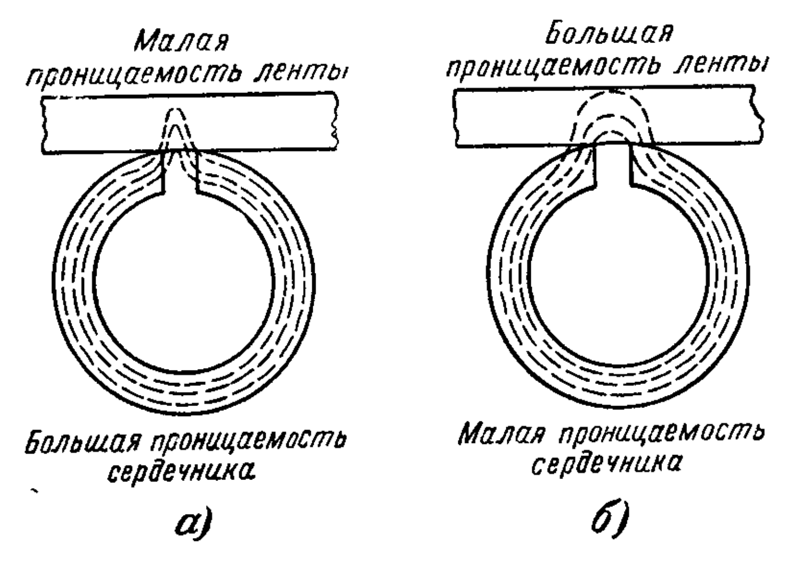


Рис 19. Влияние проницаемости ленты на эффективную ширину зазора.

Поперечная составляющая тем сильнее, чем больше напряженность поля записывающей головки, т. е. чем больше модуляция при записи. Стирающая головка с широким зазором и сравнительно малой поперечной составляющей не сможет полностью стереть поперечную составляющую от записывающей головки, даже при увеличении тока в стирающей головке. В этом случае оправдывает себя стирание размагничивающим электромагнитом, питаемым от сети 50 *гц*, так как его магнитное поле действует в разных направлениях и успешно стирает поперечное намагничивание.

Как видно из рис. 18, эффективная ширина зазора больше, чем его механические размеры, так как силовые линии поля входят в материал звуконосителя перед зазором и возвращаются в сердечник за зазором. Эффективная ширина зависит от соотношения проницаемостей сердечника головки и звуконосителя (ленты). Если сердечник имеет большую проницаемость, а лента малую, то силовые линии магнитного потока сердечника проходят прежде всего в нем, так как магнитное сопротивление пути здесь мало, и лишь над зазором входят в ленту (рис. 19,*а*). Если, наоборот, проницаемость сердечника малая, а ленты большая, то силовые линии магнитного поля выходят из сердечника уже до зазора, пронизывают ленту, обладающую малым сопротивлением, и только за зазором возвращаются в сердечник (рис. 19,*б*). Эффективная ширина зазора в этом случае увеличивается, что неблагоприятно влияет на запись высоких частот.

18. Стирание записи

При записи с подмагничиванием постоянным током стирание производится постоянным магнитным полем (рис. 20). Лента, проходя над зазором стирающей головки, намагничивается полем от некоторого значения остаточной индукции B_r до полного насыщения $B_{\text{макс}}$. За зазором стирающей головки на ленту поле не действует, и индукция во всех участках ленты падает до значения максимальной остаточной индукции $B_{r\,\text{макс}}$. Лента по всей длине находится в намагниченном состоянии. Для создания постоянного магнитного поля обмотка сердечника стирающей головки питается постоянным током. Рабочая ширина зазора выбирается порядка 0,5 *мм*.

В настоящее время в звукозаписи применяется исключительно высокочастотное подмагничивание, и поэтому звуконоситель (лента) должен быть нейтрален в магнитном отношении.

Стирание в этом случае производится переменным (высокочастотным) магнитным полем. Процесс стирания схематически изображен на рис. 21.

Любая частица материала звуконосителя, проходя над зазором стирающей головки, намагничивается от какого-то начального значения остаточной индукции B_r до насыщения, а затем размагничивается до нуля. Весь этот процесс происходит вдоль кривых петель гистерезиса. Возрастание и спадание магнитного потока, действующее в области зазора на проходящую ленту, определяется характером магнитного поля в самом зазоре.

Для хорошего размагничивания необходимо, чтобы переменное магнитное поле имело достаточно высокую часто-

ту. Частота эта связана с величиной зазора. Нельзя например, при зазоре стирающей головки 0,5 *мм* применить частоту сети 50 *гц*. Если допустить, что каждая частица ленты, проходя под зазором в 0,5 *мм*, должна перемагнититься хотя бы в 10 раз, то при скорости движения

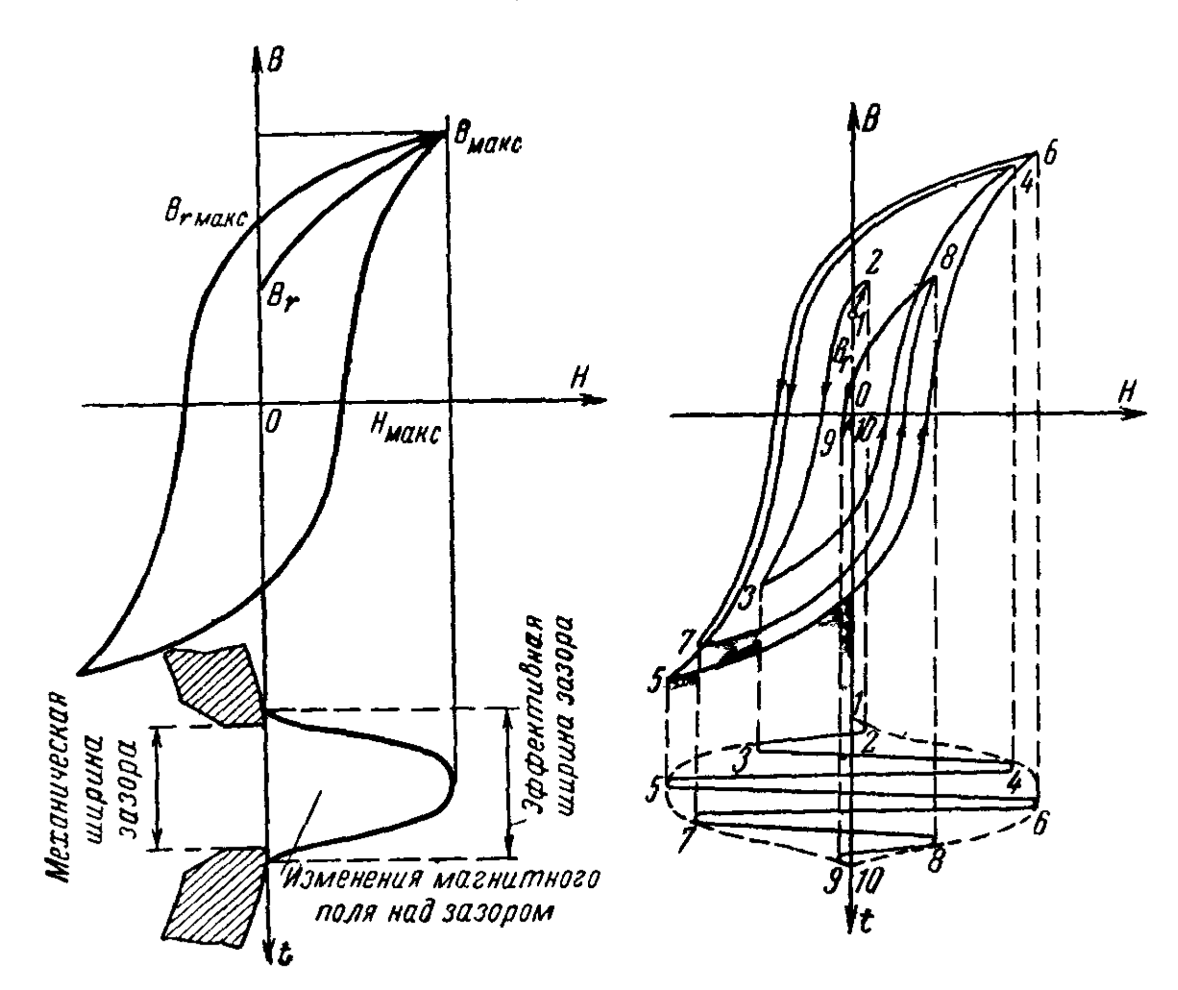


Рис. 20. Стирание записи постоянным магнитным полем.

Рис. 21. Стирание записи переменным магнитным полем.

76,2 *см/сек* необходима частота $f = \frac{v}{\lambda} = \frac{76{,}2}{0{,}005} = 15$ *кгц*, так как длина волны λ должна быть в 10 раз меньше ширины зазора. Практически частота стирания выбирается в пределах 30—90 *кгц*.

Зазор стирающей головки заполняется прокладкой из бериллиевой бронзы. Это не только предохраняет зазор от загрязнения, но и способствует вытеснению силовых линий из зазора в ленту за счет действия индуктируемых в прокладке вихревых токов. Вихревые токи в стирающей головке довольно значительны и возрастают с частотой; в результате головка сильно нагревается, поэтому частоту стирания приходится ограничивать.

19. Процессы при записи

При звукозаписи очень важно знать магнитные свойства звуконосителя. Прежде всего важна связь между напряженностью магнитного поля H, создаваемого записывающей головкой и остаточной индукцией B_r в материале звуконосителя

Если по обмотке записывающей головки пропустить ток, то напряженность H будет прямо пропорциональна величине тока. При увеличении тока эта зависимость сохраняется в широких пределах, т. е. остается линейной Когда перед зазором записывающей головки начинает перемещаться звуконоситель, напряженность магнитного поля H создает в нем магнитную индукцию B, причем соотношение между H и B уже не остается линейным благодаря магнитным свойствам звуконосителя. Например, увеличению H в 2 раза не соответствует удвоение величины индукции B. Кроме того, ее значение зависит от магнитного состояния (величины остаточной индукции) звуконосителя до воздействия на него поля H.

Когда намагниченная частица звуконосителя проходит зону зазора головки, то ее индукция B понижается до значения остаточной индукции B_r.

20. Динамическая характеристика

Динамическая характеристика показывает графически связь между напряженностью магнитного поля H записывающей головки и остаточной индукцией B_r в частицах материала звуконосителя По характеристике можно проследить, как изменения во времени напряженности поля H вызывают изменения по длине звуконосителя остаточной индукции B_r. Динамическая характеристика напоминает характеристику электронной лампы.

Представим, что над записывающей головкой проходит размагниченный звуконоситель (рис. 22). Напряженность поля H_1 головки создает в ленте индукцию B_1. Когда рассматриваемая частица ленты пройдет зазор головки и прекратится действие поля H_1, индукция в ленте упадет до значения остаточной индукции B_{r1}. Остаточная магнитная индукция, соответствующая напряженности поля H_1, определяется точкой r_1 на динамической характеристике. Таким же образом можно получить точки r_2, r_3, r_4 характеристики для значений поля H_2, H_3, H_4 вплоть до точки насыщения. Так же строится и вторая часть дина-

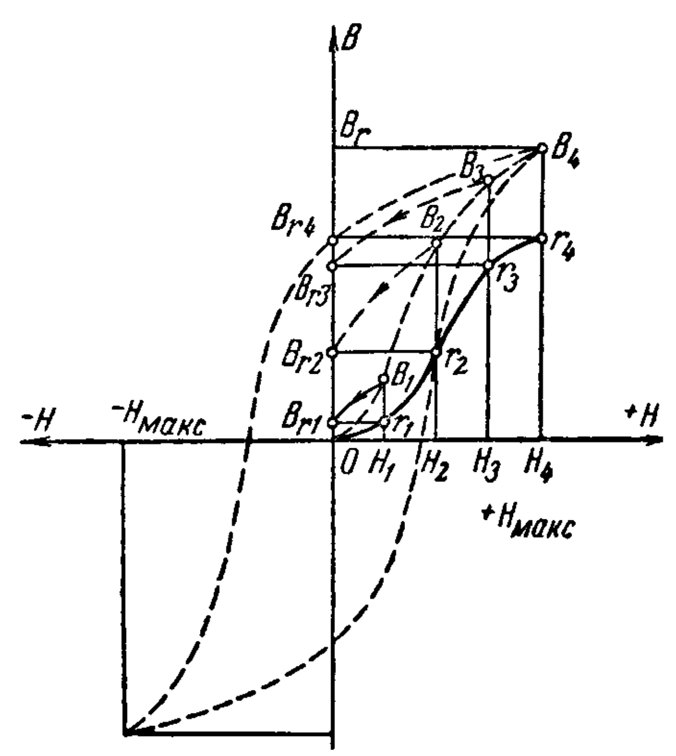


Рис. 22. Динамическая характеристика размагниченного звуконосителя

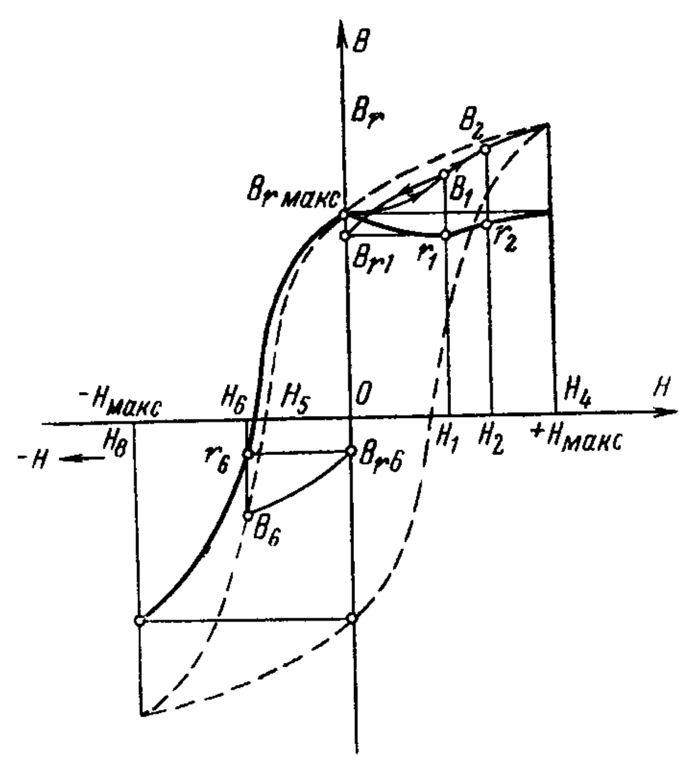


Рис. 23. Динамическая характеристика предварительно насыщенного звуконосителя.

мической характеристики для отрицательных значении напряженности поля—H. Полученная характеристика действительна для предварительно размагниченного звуконосителя.

Если звуконоситель был первоначально насыщен и имел остаточную индукцию $B_{r\,\text{макс}}$, то ход динамической характеристики будет совершенно иным, как это показано на рис. 23. Магнитное поле записывающей головки H_1 создает в частицах движущейся ленты индукцию B_1, которая после прохода зазора головки снизится до значения остаточной индукции B_{r1}. Остаточная индукция определится точкой r_1 на динамической характеристике. То же самое рассуждение применимо и для других значений поля. Для наглядности чертежа на нем не показано построение остальных точек характеристики.

21. Запись без подмагничивания

Динамические характеристики позволяют проследить зависимость между напряженностью магнитного поля H записывающей головки и остаточной индукцией B_r в материале звуконосителя.

Если в записывающей головке создать синусоидальное магнитное поле, то магнитная индукция в предварительно размагниченном материале ленты будет определяться динамической характеристикой, показанной на рис. 22. В начале координат эта характеристика криволинейна (рис. 24). Синусоидальному изменению напряженности поля H (точки *1—5*) будет соответствовать остаточная индукция B_r (точки *1′—5′*), причем уже несинусоидальная по форме. Искажения

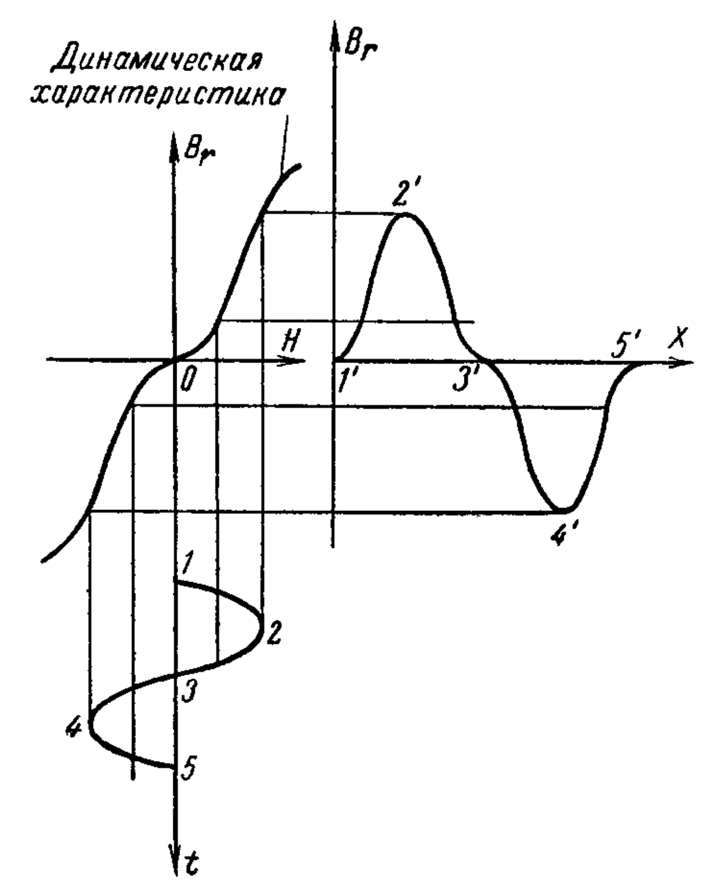


Рис. 24. Запись на размагниченную ленту без подмагничивания.

получаются за счет искривления динамической характеристики в точке 0 и сопровождаются появлением третьей гармоники.

Если синусоидальным полем воздействовать на предварительно насыщенную ленту, то динамическая характе-

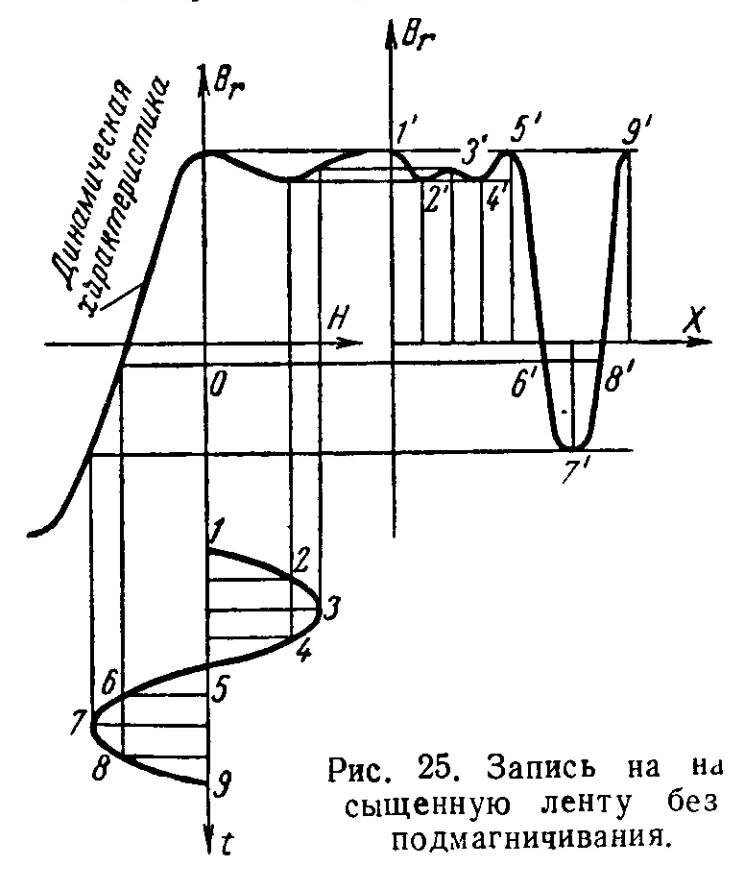


Рис. 25. Запись на насыщенную ленту без подмагничивания.

ристика будет такой, как на рис. 23, и звуковой след приобретет форму согласно рис. 25. Запись значительно искажена второй гармоникой и качество ее будет очень низко.

22. Запись с подмагничиванием постоянным током

Рабочую точку можно сдвинуть в линейную часть динамической характеристики при помощи подмагничивания постоянным током. Это аналогично влиянию сеточного смещения на работу электронной усилительной лампы.

Пример записи с постоянным подмагничиванием приведен на рис. 26. По характеру динамической характеристики видно, что следы предыдущей записи были стерты постоянным магнитным полем. В зазоре записывающей головки действует синусоидальное (переменное) магнитное поле и, кроме того, постоянное поле подмагничивания $-H_p$, направление которого противоположно направлению поля стирающей головки. Подмагничивание сдвигает

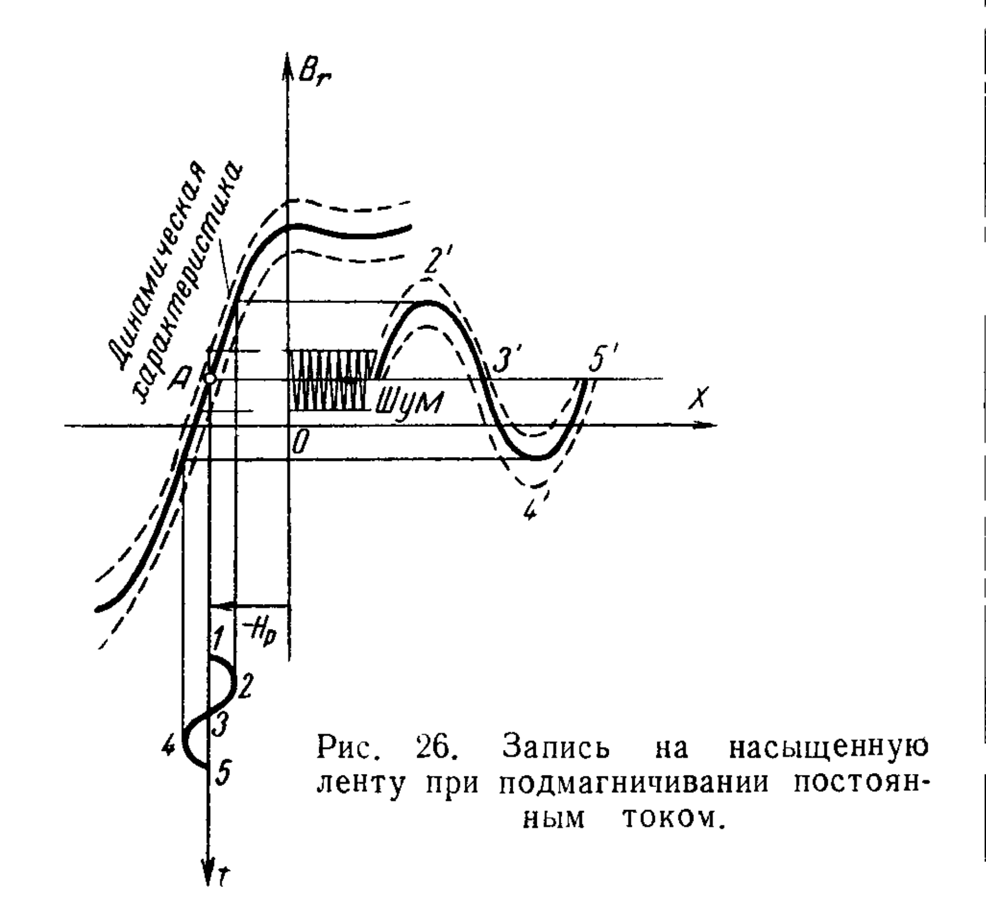


Рис. 26. Запись на насыщенную ленту при подмагничивании постоянным током.

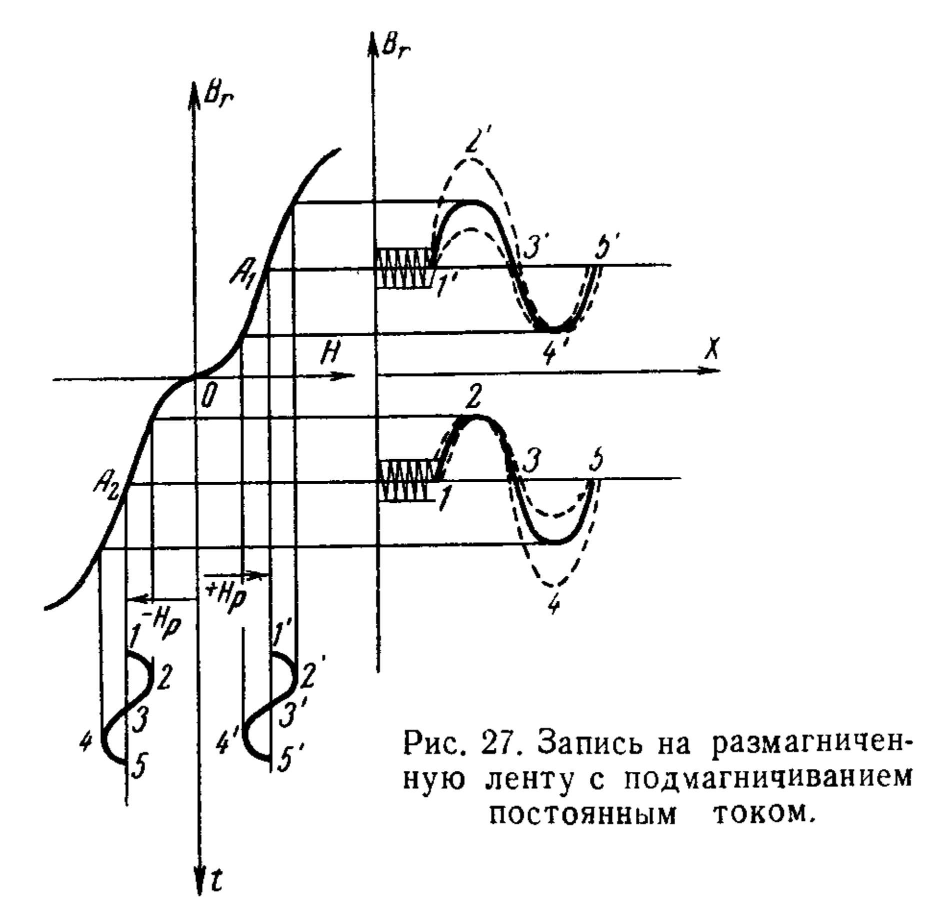


Рис. 27. Запись на размагниченную ленту с подмагничиванием постоянным током.

рабочую точку A в линейную часть динамической характеристики, и в результате синусоидальная форма кривой магнитного поля головки (точки $1—5$) повторяется формой кривой остаточной индукции (точки $1'—5'$).

Если звуконоситель предварительно размагничен переменным током, то его динамическая характеристика имеет форму, показанную на рис. 27. Подмагничивание в этом случае может быть или положительным, или отрицательным, но по величине должно быть таким, чтобы рабочие точки A_1 или A_2 находились в линейных частях динамической характеристики.

Качество записи при подмагничивании постоянным током все же неудовлетворительно. Запись имеет узкий динамический диапазон (около 35 *дб*), обусловленный большим уровнем шумов. Шум появляется в результате неоднородности материала звуконосителя, вследствие чего возникает непостоянство динамической характеристики.

23. Запись с высокочастотным подмагничиванием

23-1. Сочетание колебаний

Сначала ознакомимся с двумя способами сочетания низкочастотных и высокочастотных колебаний, имеющих синусоидальную форму. Один из способов называется модуляцией, второй — наложением колебаний. Звуковые частоты будем обозначать н.ч., а высокочастотные — в.ч.

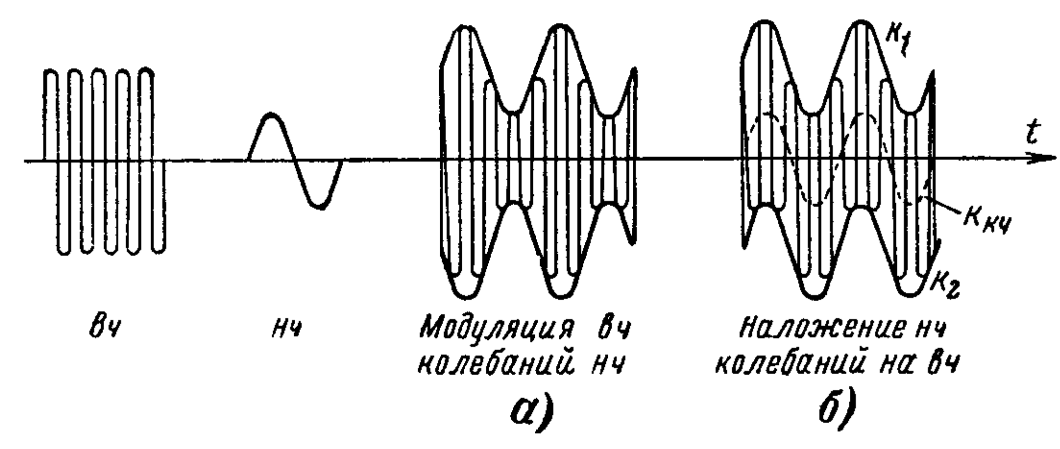


Рис. 28. Сложение двух частот методом модуляции и наложения.

На рис. 28,*а* изображена модуляция в. ч. колебаний н.ч. колебаниями. Получаемое сложное колебание симметрично относительно оси времени t; вершины н.ч. огибающей с обеих сторон оси расположены друг против друга.

Рисунок 28,*б* дает представление о наложении н.ч. колебаний на высокочастотные. Центры в.ч. колебаний сдвинуты вдоль оси времени t на величину мгновенных значений н.ч.; вершине огибающей с одной стороны оси времени соответствует впадина на другой стороне; мгновенное значение колебания н. ч. равняется среднему арифметическому мгновенных значений огибающих k_1 и k_2, т. е. $k_{нч} = \frac{k_1 + k_2}{2}$.

Оба способа сочетания колебаний характерны не только формой результирующих колебаний, но и их электрическими проявлениями. Если в. ч. колебания, модулированные н. ч., подать на вход системы, которая полностью подавляет в. ч. колебания, то тем самым будут потеряны и н. ч. колебания, и наоборот, при наложении двух колебаний та же система полностью срезала бы в. ч. колебания, но пропустила бы н. ч. составляющую.

Способ наложения в. ч. и н. ч. колебаний и применяется при магнитной записи звука с высокочастотным подмагничиванием.

23-2. Процесс записи

Динамическая характеристика позволяет проследить за процессом записи с в. ч. подмагничиванием. На рис. 29 приведена динамическая характеристика звуконосителя, предварительно размагниченного магнитным полем. По обмотке головки записи проходит суммарный намагничивающий ток, состоящий из записываемого н. ч. тока с амплитудой $I_{нч}$ и в. ч. подмагничивающего тока с амплитудой $I_{вч}$. Изменения по времени намагничивающего поля головки изображены синусоидами $H_{нч}$ и $H_{вч}$; там же показано результирующее поле, получившееся в результате наложения колебаний в. ч. и н. ч. Форма остаточной индукции от в. ч. колебаний оказывается искаженной, так как динамическая характеристика нелинейна в начале координат; ход остаточной индукции н. ч. колебаний $B_{r\,нч_1}$ и $B_{r\,нч_2}$ оказывается неискаженным. Результирующее среднее значение н. ч. остаточной индукции будет $B_{r\,нч} = \frac{B_{r\,нч_1} + B_{r\,нч_2}}{2}$.

Запись н. ч. колебании осуществляется на обоих линейных участках динамической характеристики, полученных в результате действия в. ч. подмагничивания. Сами в. ч. колебания практически не регистрируются на ленте при обычных скоростях ее движения.

Рис. 29. Запись с высокочастотным подмагничиванием.

Рис. 30. Построение динамической характеристики методом Камраса.

За процессом записи с в. ч. подмагничиванием можно также проследить, используя графический метод М. Камраса. Графическое построение динамических характеристик дано на рис. 30. Первоначальная исходная характеристика $B_r = f(H)$ для звуконосителя проходит через точку пересечения осей H и B_r (тонкая линия). Эта характеристика сдвигается параллельно себе вправо и влево на максимальную величину напряженности в. ч. подмагничивающего поля,

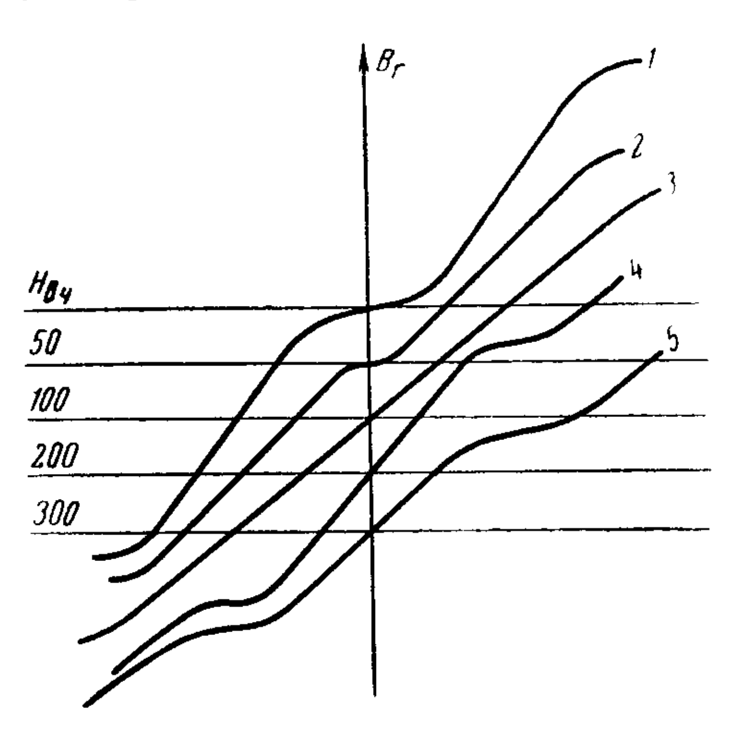


Рис 31. Ход динамических характеристик при разной величине тока в. ч. подмагничивания.

т. е. на $\pm H_{вч\,макс}$ получаются две крайние кривые, вычерченные пунктиром. Среднеарифметические значения величин B_{r1} и B_{r2}, определенные на протяжении обеих пунктирных характеристик, дают рабочую динамическую характеристику (жирная кривая), которая проходит через точку пересечения осей H и B_r без искривления и в широком участке линейна.

Высокочастотное подмагничивание, таким образом, спрямляет динамическую характеристику и почти в 2 раза расширяет ее линейный участок по сравнению с подмагничиванием постоянным током. Разным значениям в. ч. подмагничивающего поля $H_{вч}$ соответствуют разные рабочие динамические характеристики (рис. 31). Значению $H_{вч} = 0$ отвечает рабочая характеристика с большим искривлением

(кривая *1*). С увеличением подмагничивающего поля кривизна характеристики уменьшается (кривая *2*) и при определенном его значении имеет наибольший линейный участок, когда искажения будут наименьшими (кривая *3*). При дальнейшем увеличении поля $H_{вч}$ крутизна характеристики несколько увеличивается, а линейный участок сокращается (кривая *4*).

23-3. Высокочастотное подмагничивание

Высокочастотное подмагничивание расширяет динамический диапазон звукозаписи по сравнению с подмагничиванием постоянным током, при котором материал звуконосителя все время намагничен. Неоднородность активного слоя ленты создавала в этих условиях постоянный шум, даже в отсутствии записываемого н.ч. сигнала.

Соответствующим подбором частоты в.ч. подмагничивания можно достичь того, что каждая магнитная частица ленты по нескольку раз перемагничивается, проходя над зазором записывающей головки, причем амплитуда в.ч. подмагничивающего поля изменяется от максимума до нуля. В результате остаточная индукция за счет в.ч. подмагничивающего поля практически равна нулю. В паузах записи, когда нет н. ч. сигнала, на ленту действует лишь поле в. ч. подмагничивания, и она остается ненамагниченной.

Обычно у звукозаписывающих устройств частота в.ч. подмагничивания не превышает 100 *кгц*. Она определяется скоростью движения ленты и, кроме того, должна быть по крайней мере в 5 раз выше наибольшей частоты записываемого н.ч. сигнала. Например, при записи сигналов с частотами до 10 *кгц* частота подмагничивания должна быть порядка 50 *кгц*.

Нелинейность рабочей характеристики создает условия для возникновения биений между в ч. подмагничиванием и высшими гармониками н.ч. колебания. Биения (разностные тона) особенно заметны при записи высоких частот; при плавном повышении частоты сигнала в записи прослушиваются свисты, причем это явление имеет периодический характер. Частота свистов возрастает, затем падает до нуля и снова возрастает. Частота свистов равна нулю при частотах записи, равных $\frac{1}{n}$ частоты в.ч. подмагничивания, где $n=1$, 2, 3, 4 и т. д. Если, например, частота в.ч. подмагничивания равна 60 *кгц*, то нулевые биения появятся при 15 *кгц*, 12 *кгц*, 10 *кгц*, 7,5 *кгц* и т. д. Чем выше порядковый номер n, тем слабее прослушиваются свисты. Поэтому частоту в. ч. подмагничивания желательно брать по возможности большей.

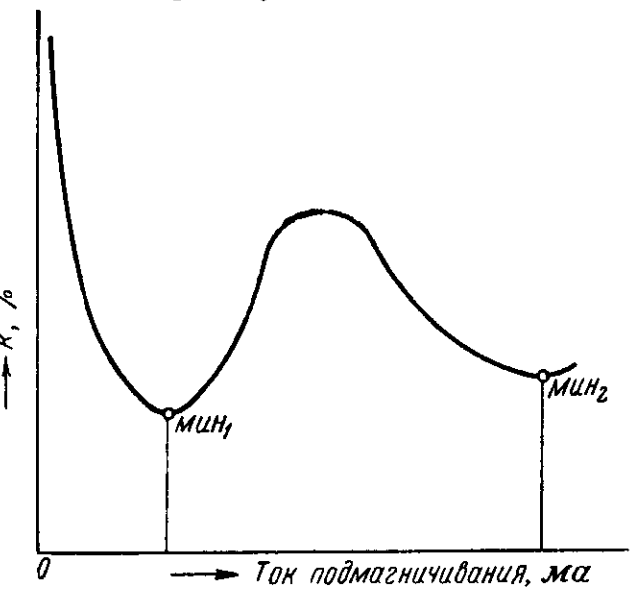


Рис. 32. Зависимость нелинейных искажений от величины тока в. ч. подмагничивания.

Величина тока подмагничивания подбирается для каждого типа ленты. Рабочая характеристика ленты наиболее линейна, и искажения н. ч. сигнала минимальны при определенном оптимальном значении тока подмагничивания. Кривая зависимости гармонических искажений от величины тока подмагничивания имеет две области наименьших искажений—*мин*$_1$ и *мин*$_2$ (рис. 32). Более подробно о выборе подмагничивания будет сказано в разделе 36-1.

23-4. Влияние искажения формы тока подмагничивания на искажения записи и шумы

Очень важно, чтобы ток подмагничивания был симметричным. Несимметричность является причиной дополнительных нелинейных искажений и шумов в записи. При этом нелинейные искажения звука в процентах примерно составляет $^1/_3$ искажения формы тока подмагничивания, также выраженного в процентах.

На рис. 33 показан пример, когда ток в.ч. подмагничивания искажен за счет второй гармоники. Кривая тока несимметрична по отношению к оси времени t, но площади S_1 и S_2 одинаковы. Искривление динамической характеристики вблизи начала координат создает несимметричность кривой остаточной индукции по отношению к оси X (площади S_{r1} и S_{r2} — неодинаковы), что равносильно появлению постоянной составляющей остаточной индукции B_{rss}. Таким образом, хотя несимметричное подмагничивание и не содержит постоянной составляющей, в материале

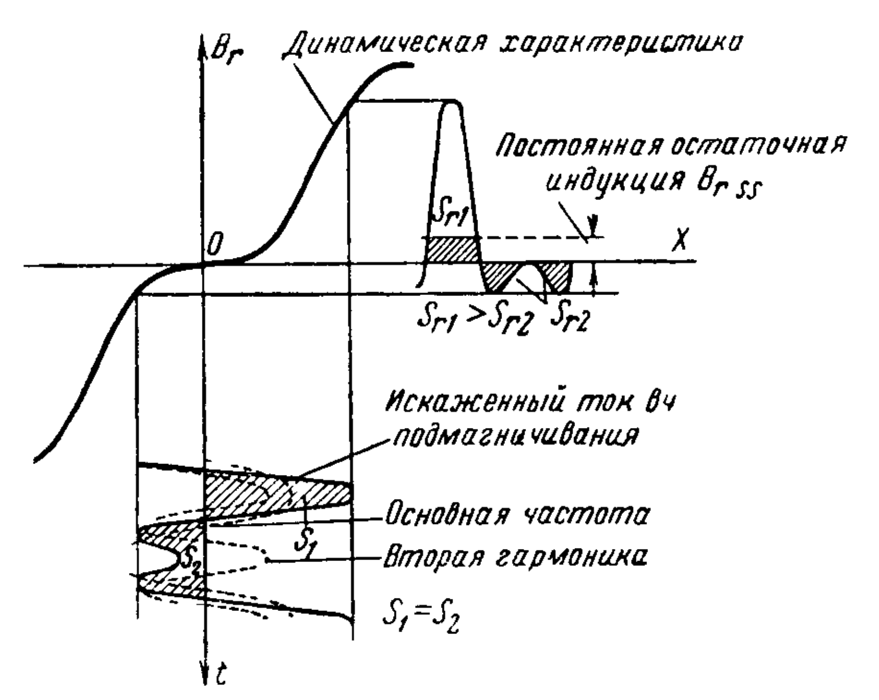


Рис. 33. Возникновение постоянной остаточной индукции за счет искажения формы кривой тока в. ч. подмагничивания

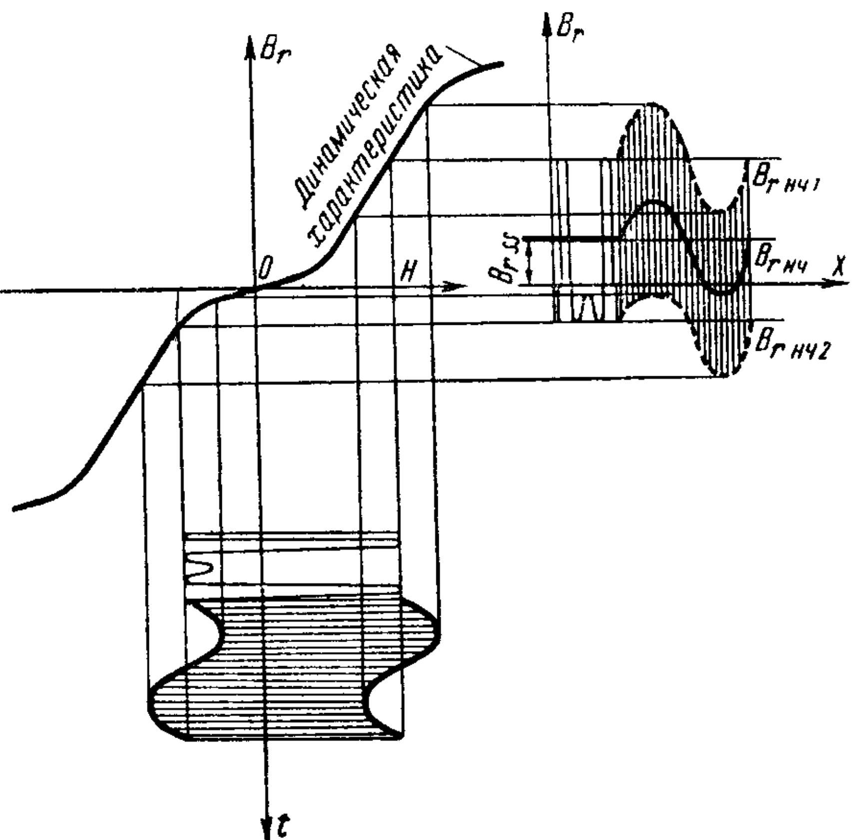


Рис. 34. Искажения записи за счет несимметричности тока в. ч. подмагничивания.

звуконосителя остается постоянная остаточная индукция, которая и является причиной шума при воспроизведении записи. Величина B_{rss} зависит от степени несимметричности подмагничивания.

На рис. 34 графически показаны искажения н. ч. сигнала в записи при несимметричности в. ч. подмагничивания. Как видно, нелинейные искажения появляются за счет того, что одна полуволна в кривой остаточной индукции $B_{r\,нч_2}$ заметно слабее второй.

23-5. *Возникновение шума при магнитной записи*

Для успешной борьбы с шумами при звукозаписи необходимо знать причины их возникновения.

Первой причиной являются шумы электронных ламп, в особенности первой лампы усилителя. Ослабить их можно подбором лампы с малым шумом Если хорошо размагниченная лента при воспроизведении создает больший шум, чем шум лампы, то последний можно считать нормальным, и причину шума в записи надо искать в постоянном остаточном намагничивании ленты. В этом случае в воспроизводящей головке появляется магнитный поток, значение которого из-за зернистости структуры рабочего слоя звуконосителя непрерывно изменяется, возбуждая в обмотке головки э. д. с. со спектром частот, характерных для шума.

Постоянное остаточное намагничивание ленты может получиться от несимметричного в.ч. подмагничивания, от случайно намагниченной записывающей головки. Намагничивание головки может произойти от прикосновения намагниченным инструментом или от апериодических нестационарных процессов в момент включения анодного напряжения усилителя записи.

Головку можно размагнитить или специальным электромагнитом, или разрядом конденсатора, через ее обмотку. Затухающие колебания, возникающие при таком разряде, хорошо размагничивают головку. Емкость конденсатора зависит от индуктивности головки; для индуктивности 100 *мгн* достаточна емкость 0,5 *мкф*. Однако этот метод не всегда надежен и, кроме того, его можно применить лишь для головок с небольшими потерями.

Шум может возникнуть и от воспроизводящей головки Неоднородности структуры ленты, движущейся перед зазором головки, создают непостоянство сопротивления

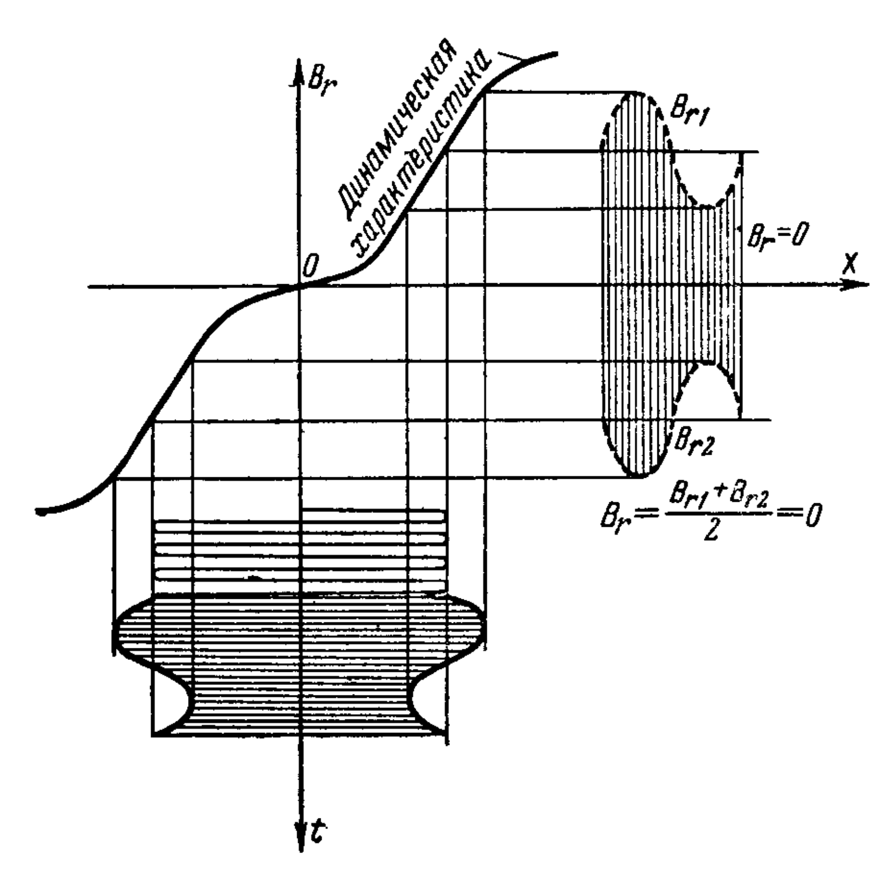


Рис. 35. Высокочастотный ток подмагничивания, модулированный частотой питающей сети.

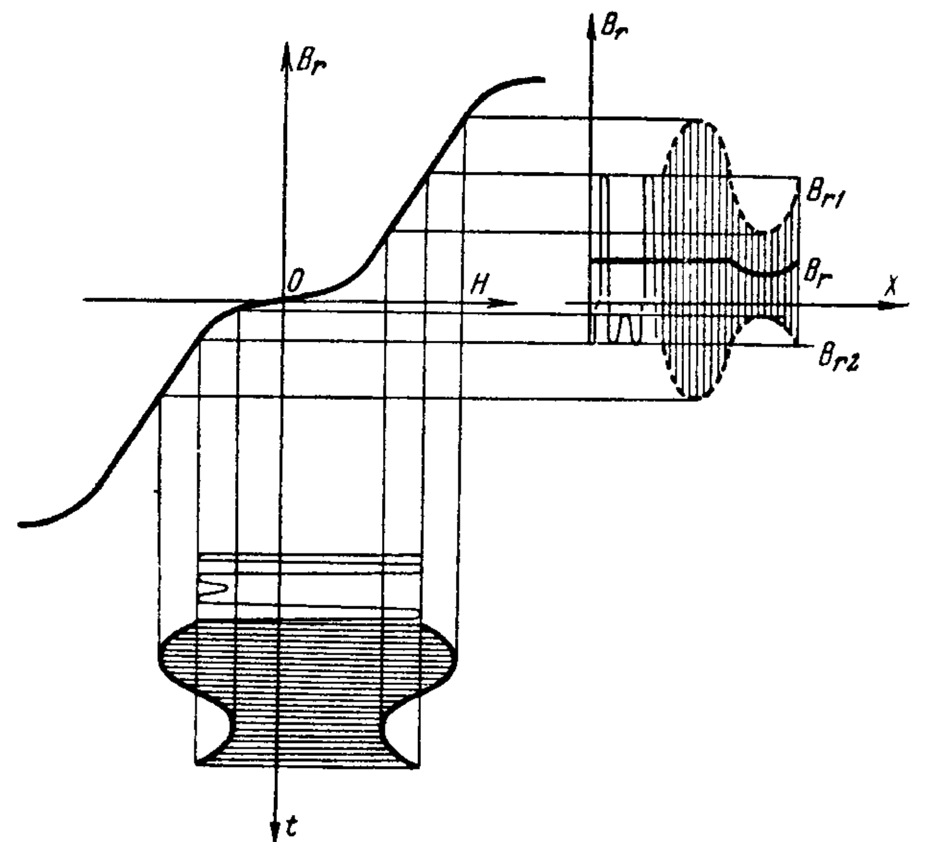


Рис. 36. Модуляция искаженного в. ч. тока подмагничивания частотой питающей сети.

магнитной цепи (полюсы головки и лента) и тем самым непостоянство магнитного потока в ней. В результате появляется постоянный шум при воспроизведении записи. Его можно устранить размагничиванием воспроизводящей головки.

23-6. Возникновение фона при звукозаписи

Ток в. ч. подмагничивания может быть модулирован частотой питающей сети, если фильтрация анодного напряжения недостаточна. Когда подмагничивание симметрично, то это никак не сказывается (рис. 35), так как возникающая остаточная индукция симметрична относительно оси X и среднеарифметическое значение мгновенных величин огибающих кривых B_{r1} и B_{r2} равно нулю.

При несимметричном подмагничивании (из-за присутствия в нем второй гармоники) и действии модулирующей наводки сети (рис. 36) на ленте получается несимметричная относительно оси X кривая остаточной индукции. Среднеарифметическое значение мгновенных величин B_{r1} и B_{r2} дает составляющую B_r, которая при воспроизведении возбуждает напряжение с частотой сети.

Запись фона переменного тока может, конечно, появиться и за счет непосредственного проникновения этой помехи в усилитель записи или от воздействия сильного переменного магнитного поля (от трансформатора или мотора) на магнитную головку. Распознать фон на ленте проще всего, увеличив скорость движения ленты в подозрительном месте раз 10 — тон с частотой 500 *гц* прослушивается гораздо отчетливее, чем 50 *гц*.

Для предотвращения фона в записи необходима совершенная фильтрация анодного напряжения и экранировка всех головок от посторонних наводок.

23-7. Модуляционный шум

Недостатком магнитной записи является так называемый модуляционный шум, возникающий из-за неоднородности звуконосителя. Этот шум пропорционален намагниченности звуконосителя. Например, при записи синусоидального колебания наименьший шум получается при амплитудных значениях воспроизведенного сигнала, наибольший — в момент перехода через нуль (рис. 37).

Модуляционный шум возникает совместно с сигналом. Величину его определяют следующим образом: к записывающей головке подводят вместо переменного тока записи постоянный ток, равный амплитудному значению пере-

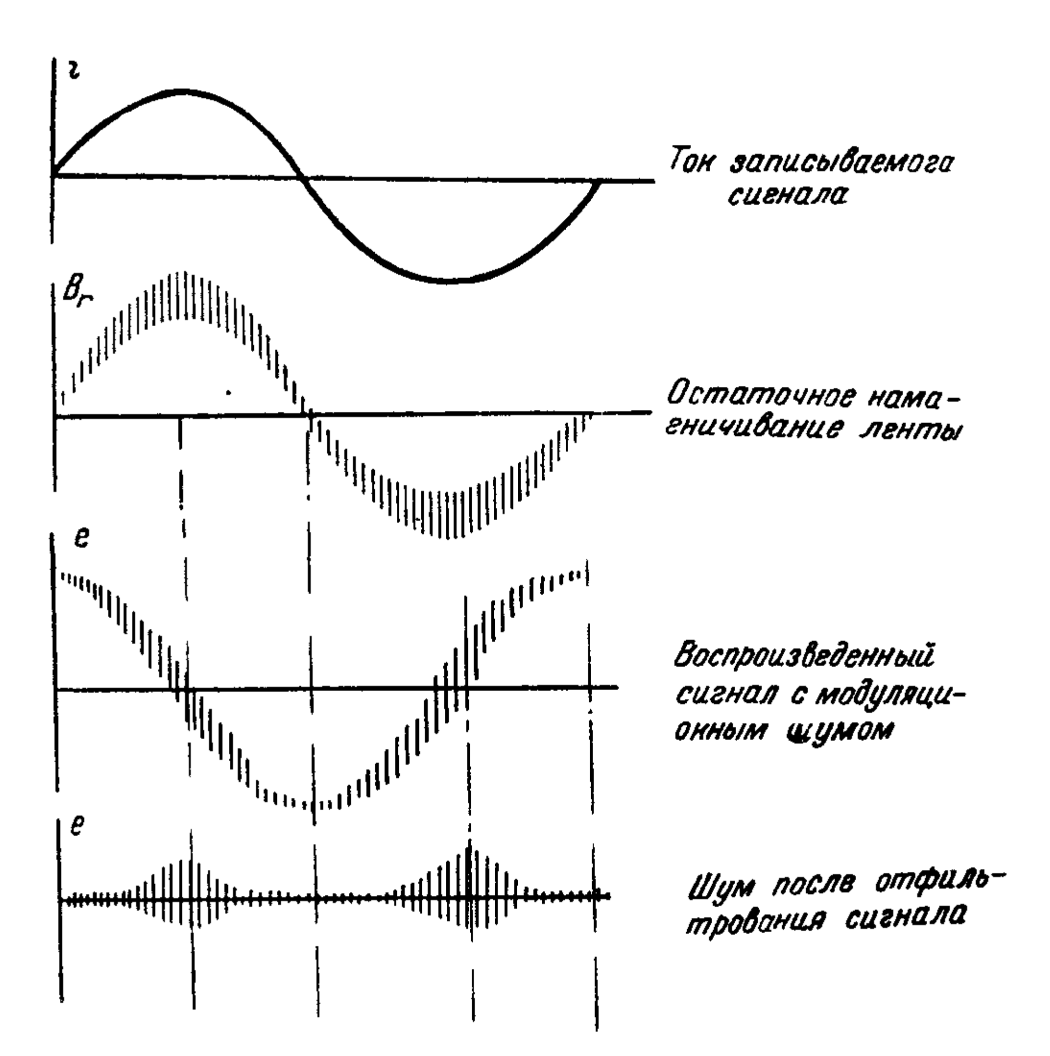


Рис. 37. Характер модуляционного шума

менного, и при воспроизведении измеряют напряжение шума. Отношение эффективного напряжения шума к эффективному напряжению сигнала выражают в децибелах.

Модуляционный шум можно контролировать на осциллографе, записывая сигнал с частотой около 1 000 *гц* и затем отфильтровывая его при воспроизведении. На экране будет наблюдаться напряжение шума, модулированное частотой сигнала (рис. 37).

По сравнению с шумом, создаваемым подмагничиванием постоянным током, модуляционный шум мешает гораздо слабее, так как он возникает только при сигнале и маскируется им. Только опытное ухо замечает модуляционный шум при воспроизведении игры на некоторых музыкальных инструментах. Тембр звука при этом кажется более жестким, чем в действительности.

23-8. Саморазмагничивание звуконосителя

При записи сигнала с высокой частотой и, следовательно, с короткой длиной волны в звуконосителе происходит внутреннее саморазмагничивание, уменьшающее амплитуду воспроизводимого сигнала.

При записи синусоидального сигнала определенной частоты в ленте возникает цепочка элементарных магнитов длиной в полволны и сечением, равным сечению намагничиваемого слоя. При повышении частоты длина магнитов уменьшается и отношение их сечения к длине увеличивается, тем самым возрастает взаимное влияние полюсов и степень саморазмагничивания.

На размагничивание влияет величина тока подмагничивания. С увеличением последнего возрастает напряженность магнитного поля записывающей головки и происходит более глубокое намагничивание рабочего слоя ленты. От этого увеличивается сечение отдельных элементарных магнитов и растет отношение их площади сечения к длине, а тем самым и степень размагничивания. Этим, в частности, объясняется требование подбора наименьшего тока подмагничивания для получения хорошей записи высоких частот.

Звуконоситель тем меньше размагничивается, чем больше его коэрцитивная сила. Сравнивая разные звуконосители, следует отдавать предпочтение тем, у которых коэрцитивная сила больше при одинаковых остаточных индукциях. Решающим является соотношение коэрцитивной силы и остаточной индукции.

23-9. Влияние непостоянства прилегания ленты к головке

В результате непостоянства прилегания ленты к головке записи звуконоситель намагничивается в различных условиях, и поэтому при воспроизведении записи заметны колебания уровня выходного сигнала, в особенности при более высоких частотах. Поэтому прилегание ленты к головке должно быть надежным и равномерным. Причин несовершенного прилегания несколько: непостоянное и недостаточное натяжение ленты, волнистость и плохая склейка ленты, шероховатость поверхности головки

24. Воспроизведение записи

24-1. Частотная зависимость э. д. с. воспроизводящей головки

При движении ленты с записью со скоростью, равной скорости при записи над зазором воспроизводящей головки, в ее обмотке индуктируется напряжение, так как сило-

вые линии магнитного потока Ф ленты замыкаются через сердечник головки, идя по пути наименьшего магнитного сопротивления. Индуктированная в воспроизводящей головке э. д. с. прямо пропорциональна частоте, числу витков обмотки и магнитному потоку ленты:

$$U_{ef} = 4{,}44 N f \Phi_{\text{макс}} \; [в, \; гц, \; вб].$$

Электродвижущая сила удваивается при изменении частоты вдвое, например с 200 до 400 *гц*. Удвоение э. д. с. соответствует ее повышению на 6 *дб*; удвоение частоты дает октаву.

Идеальная характеристика э. д. с. воспроизводящей головки изображается прямой с крутизной 6 *дб* на октаву (пунктирная прямая на рис. 38) в предположении, что запись производится при постоянном значении тока во всем частотном диапазоне. Электродвижущая сила головки, кроме того, пропорциональна ширине звуковой дорожки. Если воспроизводить запись с половинной шириной дорожки головкой, рассчитанной на нормальную ширину дорожки, то э. д. с. будет меньше на 6 *дб*. Головка, сконструированная специально для воспроизведения узкой дорожки, будет иметь сечение сердечника и индуктивность в 2 раза меньшее. Индуктивность головки прямо пропорциональна квадрату числа витков и обратно пропорциональна магнитному сопротивлению сердечника, т. е. $L \approx \frac{N^2}{R_m}$. Поэтому у узкой головки для получения такой же индуктивности, как у обычной головки, можно увеличить число витков до $N\sqrt{2}$, и по сравнению с головкой, воспроизводящей дорожку нормальной ширины, ее э. д. с. уменьшится только на 3 *дб*. Это обстоятельство необходимо учитывать при двухдорожечной записи.

Рис. 38. Влияние размагничивания на ход частотной характеристики э. д. с. воспроизводящей головки.

24-2. Влияние саморазмагничивания

Частотная характеристика э. д. с. воспроизводящей головки в действительности значительно отличается от идеальной характеристики (прямая U_{id} на рис. 38) и остается прямолинейной лишь примерно до 3000 *гц*, а затем по достижении максимума (кривая U_{in} рис. 38) резко спадает.

Уменьшение э. д. с. на высоких частотах обусловлено главным образом саморазмагничиванием звуконосителя. Размагничивание происходит по экспоненциальному закону. Примерная частотная характеристика размагничивания показана на рис. 38 кривой *D*.

24-3. Влияние размеров зазора

При ширине зазора воспроизводящей головки *b* (рис. 39) действующий магнитный поток ленты Φ_x равен среднему значению потока в сечениях x_1 и x_2 на краях зазора. В результате этого усреднения уменьшаются величины магнитного потока в сердечнике головки на высоких частотах и э. д. с. в обмотке.

Происходящее уменьшение для колебаний с длиной волны λ определяется коэффициентом *k*:

$$k = \frac{\sin \frac{\pi b}{\lambda}}{\frac{\pi b}{\lambda}},$$

зависящим от отношения ширины зазора *b* к длине волны записи λ. Если $b = n\lambda$, где $n = 1, 2, 3, 4$ и т. д., то $k = 0$, так как $\sin n\pi = 0$; с возрастанием значения *n* максимальное значение *k* уменьшается.

Рис. 39. Влияние ширины зазора на воспроизведение записи.

Зависимость коэффициента *k* от λ аналогична так называемой **щелевой функции**, встречающейся в оптической записи звука (рис. 40).

График щелевой функции, показанный на рис. 40, относится к случаю идеальной прямоугольной формы маг-

нитного поля над зазором головки (рис. 40,*б*). В действительности магнитное поле над зазором неравномерно и по форме близко к косинусоиде или второй степени косинуса ($\cos^2$), как это показано на рис. 41,*б*.

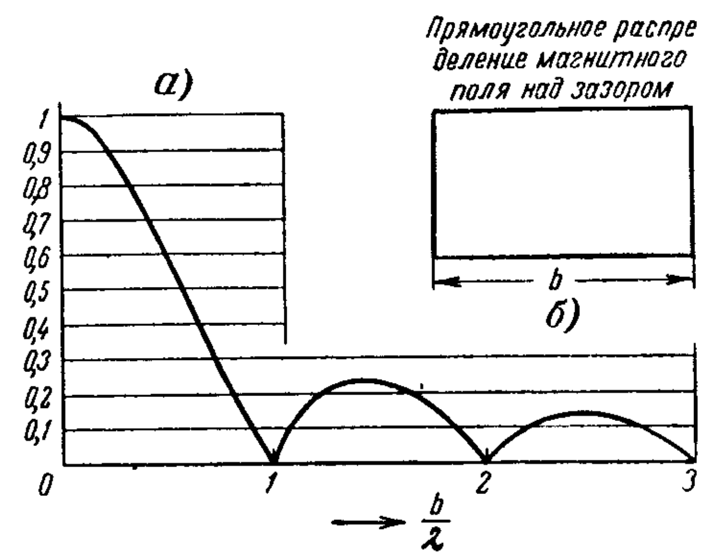


Рис. 40. Ход „щелевой функции" в случае прямоугольной формы магнитного поля над зазором.

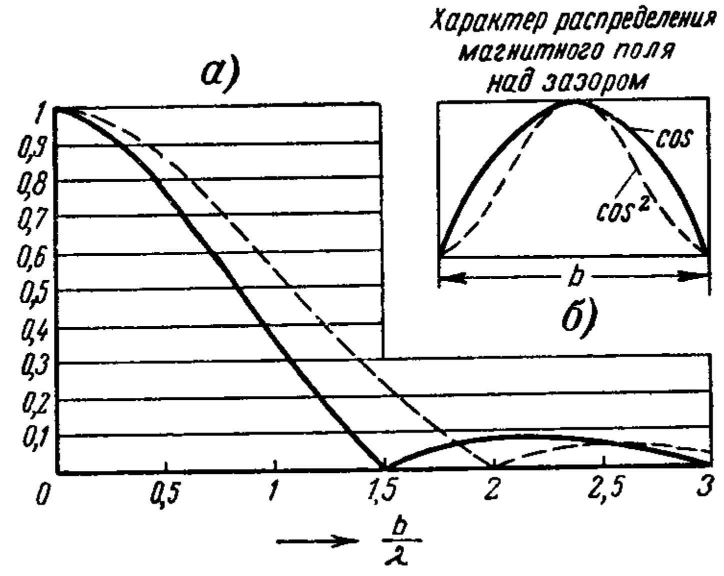


Рис. 41. Ход „щелевой функции" для случая неравномерного магнитного поля над зазором.

Если при равномерном (прямоугольном) поле первое нулевое значение k будет при $\frac{b}{\lambda}=1$, то при неравномерном поле нулевое значение k будет при $\frac{b}{\lambda}=1{,}5$ или при $\frac{b}{\lambda}=2$ (рис. 41) Объясняется это тем, что косинусоидальный или степенной ход кривой магнитного поля над зазором головки эквивалентен уменьшению самого зазора. Действительный характер поля над зазором головки соответствует функции $\cos^2$ с учетом эффективной ширины зазора, которая всегда больше его геометрической. Щелевая функция для случая прямоугольного поля и геометрической ширины зазора приближается к щелевой функции для неравномерного поля ($\cos^2$) и эффективной ширины зазора, поэтому можно практически пользоваться первой функцией.

По ходу кривых на рис. 40 и 41 видно, что нулевое значение э. д. с. воспроизводящей головки получается при какой-то определенной частоте f_0. Значения этой частоты приведены в табл. 3 для головок с шириной зазора 10 и 5 *мк* и стандартных скоростей движения ленты

Таблица 3

Скорость, *см/сек*	f_0 для $b=10$ *мк, кгц*	f_0 для $b=5$ *мк, кгц*
76	76	152
38	38	76
19	19	38
9,5	9,5	19

Влияние саморазмагничивания и размеров ширины зазора можно проследить на следующем примере.

При скорости ленты 76,2 *см/сек* уменьшение э. д. с. за счет саморазмагничивания составляет —9 *дб* для частоты 8 *кгц* и ленты с характеристической длиной волны (см. ниже) $\lambda_1=100$ *мк*. Для ленты с $\lambda_1=200$ *мк* при прочих равных условиях ослабление будет —18 *дб*. На той же частоте 8 *кгц* влиянием ширины зазора в 20 *мк* можно пренебречь, так как потери э. д. с. за этот счет меньше 1 *дб*.

24-4. Характеристическая длина волны магнитной ленты

На рис. 42 приведены частотные характеристики э. д. с воспроизводящей головки для разных сортов ленты. Для оценки свойств магнитной ленты вводится понятие **характеристической длины волны**, которая означает такую длину волны записи, при которой получается наибольшее значение э д с воспроизводящей головки На-

пример, если при скорости движения ленты 76 *см/сек* максимум э. д. с. получается на частоте $f_{\text{макс}} = 7{,}6$ *кгц*, то характеристическая длина волны будет равна:

$$\lambda_1 = \frac{v}{f_{\text{макс}}} = \frac{76 \cdot 10^4}{7\,600} = 100 \text{ мк}.$$

Этот примерный расчет не учитывает влияния ширины зазора головки. Им, впрочем, можно пренебречь, так как

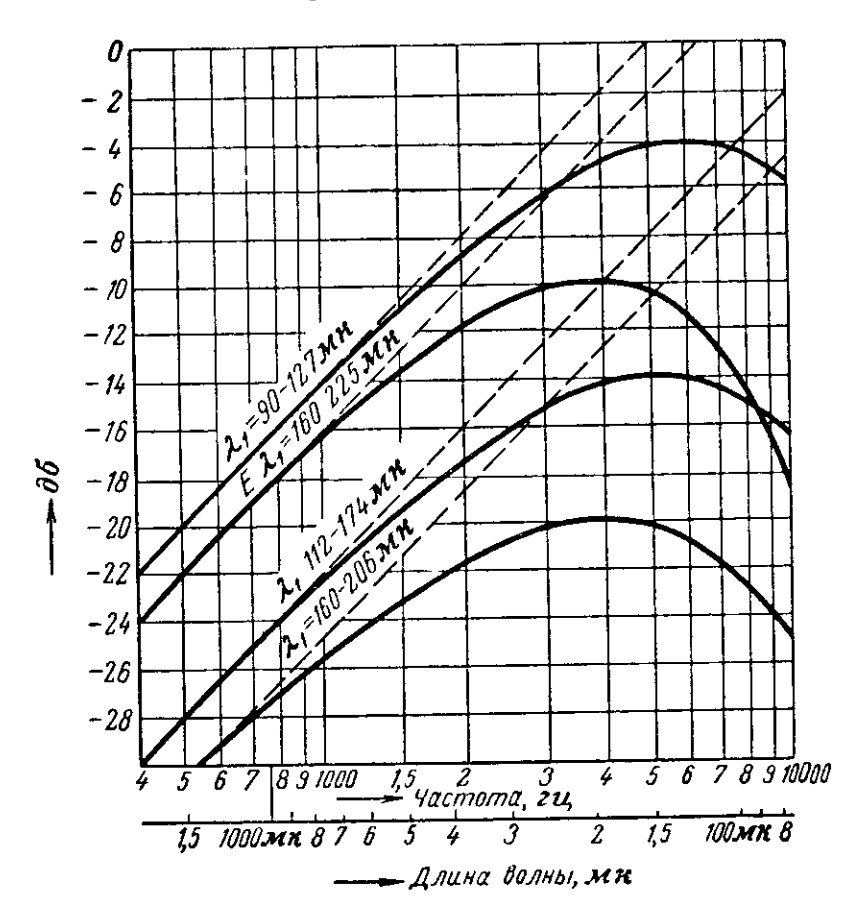


Рис. 42. Частотные характеристики разных лент при скорости 76,2 *см/сек.*

потери за счет зазора меньше 1 *дб*. При малых скоростях движения ленты применяют ленты с меньшим значением характеристической длины волны.

24-5. Влияние охвата воспроизводящей головки лентой

Для хорошего воспроизведения низких частот записи необходимо, чтобы лента звуконосителя плотно прилегала к головке. Длина поверхности соприкосновения с обеих сторон зазора должна равняться по крайней мере длине волны на самых низких частотах. Так, например, при скорости ленты 76 *см/сек* и частоте 200 *гц* длина волны

$\lambda = \frac{v}{f} = \frac{760}{200} = 3{,}8$ *мм* При такой же длине поверхности соприкосновения для частот ниже 200 *гц* возникает волнообразность частотной характеристики (рис. 43). Объясняется она тем, что на самых низких частотах частотная характеристика э. д. с. воспроизводящей головки определяется отношением длины поверхности соприкосновения головки с лентой к длине волны записи. До тех пор пока

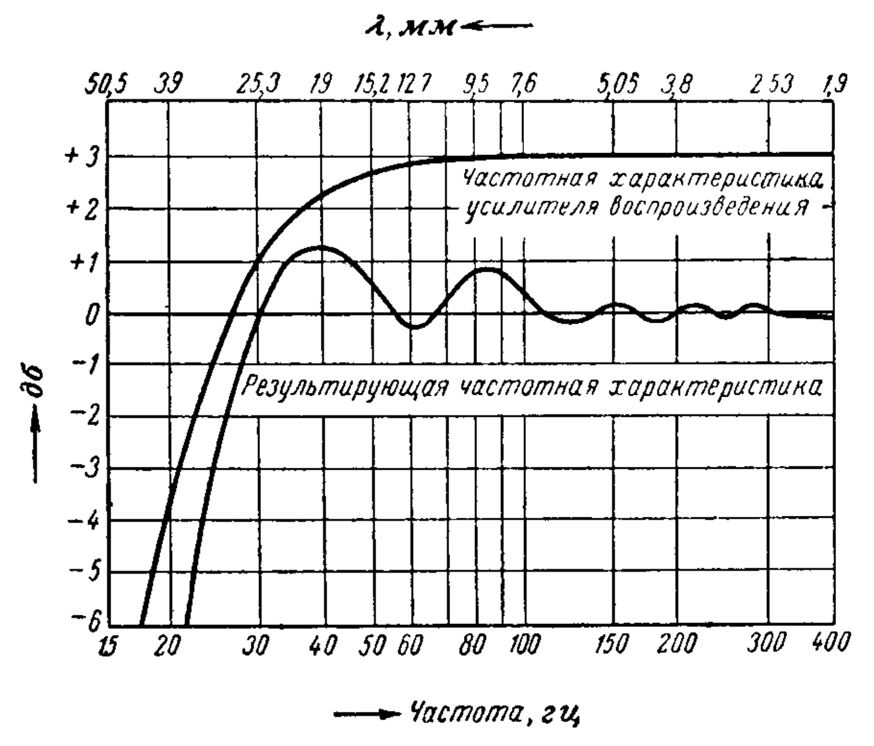


Рис. 43. Частотная характеристика при воспроизведении низких частот и скорости 76,2 *см/сек.*

длина волны мала по сравнению с зоной соприкосновения, все силовые линии внешнего магнитного потока ленты проходят через сердечник головки.

Более сложные условия получаются, когда длина волны больше зоны соприкосновения. Силовые линии внешнего магнитного потока ленты только частично проходят через сердечник головки. Возникшее поле рассеяния образует с сердечником головки как бы новый, мнимый параллельный зазор и индуктирует в обмотке головки э. д. с., которая интерферирует с э. д. с.. наведенной от непосредственного соприкосновения ленты с головкой. Электродвижущая сила мнимого широкого зазора изменяется по закону щелевой функции, т. е. дает несколько повторных, все уменьшающихся максимумов. Этим и объясняется волнообразное изменение результирующей частотной характеристики воспроизводящей головки на низких частотах. Коэф-

фициент полезного действия мнимого зазора очень низок, поэтому, когда длина волны становится в несколько раз больше зоны соприкосновения, характеристика круто спадает (рис. 43). При малых скоростях движения ленты длина волны записи во всем диапазоне короче длины поверхности соприкосновения, и описанный эффект волнообразного изменения частотной характеристики несущественен.

24-6. Влияние непараллельности зазоров записывающей и воспроизводящей головок

Записывающий и воспроизводящий зазоры должны быть взаимно параллельны и перпендикулярны направлению движения ленты. Перекос зазора воспроизводящей головки дает понижение э. д. с. на высоких частотах, так как это равносильно расширению зазора (рис. 44). Практически допустимый перекос зазора не должен быть более $^1/_4$ ширины, так, например, при ширине зазора 20 *мк* — не превышать 5 *мк*, что при длине зазора 6,5 *мм* соответствует углу наклона зазора 2,7 *мин.*

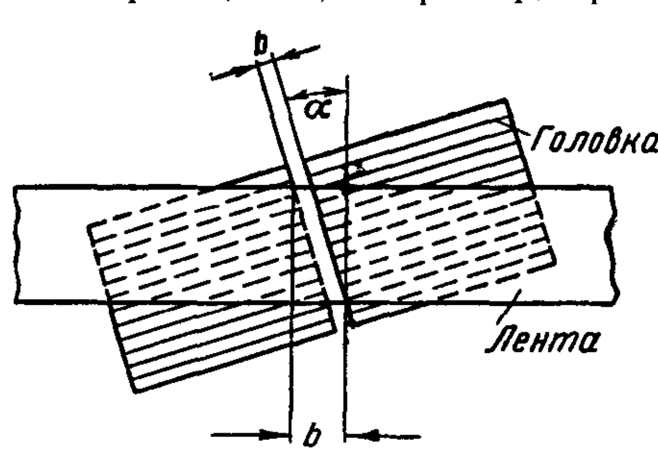


Рис. 44. Перекос зазора.

Такие незначительные перекосы зазоров трудно измерять оптическими способами. Существует более простой электрический способ настройки параллельности зазоров записывающей и воспроизводящей головок.

Для этой цели применяется испытательная лента с записью сигнала 10 *кгц,* полученная в условиях заведомой перпендикулярности зазора записывающей головки направлению движения ленты. При воспроизведении такой записи изменяют наклон воспроизводящей головки до получения наибольшего выходного напряжения. Считается, что это положение головки отвечает установленным допускам для перекоса.

После точной установки положения зазора воспроизводящей головки можно отрегулировать положение зазора записывающей головки. Для этого записывают сигнал 10 *кгц* и измеряют выходное напряжение воспроизводящей головки. Затем записывающую головку наклоняют в такое положение, при котором выходное напряжение будет наибольшим.

Более простой является настройка универсальной головки, которая производится так же, как и воспроизводящей, потому что ее зазор одновременно является и записывающим.

Практически достаточно было бы соблюсти параллельность зазоров головок, не взирая на их перпендикулярность направлению движения ленты. Но это было бы достаточно только для записи и воспроизведения на данном аппарате. При существующем же обмене магнитофонными лентами необходимо, чтобы все аппараты имели одинаковый наклон (перпендикулярность) зазоров магнитных головок. Это и достигается применением испытательных лент.

25. Двухдорожечная запись и воспроизведение

Стремление к экономии ленты и возможности стереофонической записи привело к записи двух дорожек на ленту звуконосителя. Ознакомимся вкратце с некоторыми видами такой записи.

При обычном способе двухдорожечной записи используется примерно $^1/_3$ ширины ленты для каждой дорожки;

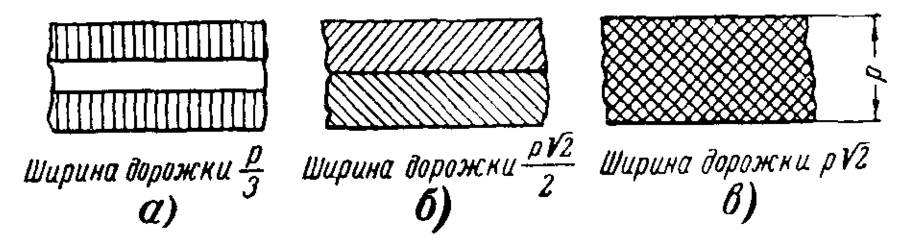


Рис. 45. Три вида двухдорожечной записи.

остающаяся треть ленты является нейтральной, предотвращающей взаимное влияние дорожек. Такой вид записи изображен на рис. 45,*а*. В результате уменьшения ширины дорожки уменьшается величина выходного напряжения, а также динамический диапазон записи. Динамический диапазон улучшается при записи раздельных сигналов способами, изображенными на рис. 45,*б* или *в*. В обоих случаях используются особенности наклонного зазора. Как известно, э. д. с. воспроизводящей головки будет наибольшей в случае параллельности зазора записывающей головки. Если угол между зазорами головок изменять от 0 до 90°, то э. д. с. воспроизводящей головки будет изменяться от максимума до нуля. Таким образом, при записи двух сигналов со взаимным наклоном зазоров записывающих голо-

вок 90° исключается взаимное влияние дорожек и отпадает необходимость вводить нейтральную зону между ними (рис. 45,*б*). Дорожки могут даже полностью перекрываться (рис. 45,*в*).

При записи способом, показанным на рис 45,*б*, ширина каждой дорожки равна $\frac{p\sqrt{2}}{2}$, где p — ширина ленты, и соответственно выходное напряжение будет больше, чем при первом способе записи, когда ширина дорожки равна только $^1/_3$ ширины ленты. При записи с перекрытием дорожек (рис 45,*в*) ширина каждой дорожки становится равной $p\sqrt{2}$, и выходное напряжение получается даже больше, чем при обычной однодорожечной записи.

При применении наклонных зазоров для сохранения прежнего частотного диапазона необходимо, однако, увеличивать поступательную скорость ленты в $\sqrt{2}$ раз или во столько же раз уменьшать ширину зазора записывающей и воспроизводящей головок Необходимо также помнить, что при записи сигналов с взаимным перекрытием дорожек сигнал, записываемый первым, несколько ослабляется высокочастотным подмагничиванием при записи второго сигнала, и поэтому модуляция вторым сигналом должна выбираться меньше. Описанные способы двухдорожечной записи применяются для продления времени записи, а также для двухканальной стереофонической записи. В последнем случае запись и воспроизведение сигнала производятся одновременно, но по отдельным электроакустическим каналам.

ГЛАВА ЧЕТВЕРТАЯ

МАГНИТНЫЕ ГОЛОВКИ

Стирание, запись и воспроизведение звука можно осуществить при помощи одной головки. Но практически для наибольшей эффективности все эти операции производятся отдельными головками. Только в тех аппаратах, от которых не требуется высоких качественных показателей, применяются комбинированные головки.

26. Конструкции головок

На рис. 46 схематически представлены основные виды конструкции головок: кольцевая, треугольная, четырехугольная и «плоская». Все головки приспособлены для продольного намагничивания звуконосителя.

Сердечники головок собираются из пластин, изготовленных из материалов с большой начальной проницаемостью, как, например, пермаллоя, супермаллоя, мюметалла и др. Оптимальная толщина пластин 0,2 *мм*; потери на гистерезис и вихревые токи при такой толщине еще допустимы, а при более тонких пластинах в сердечнике возрастает нерабочий слой поверхностного окисла и клея.

На магнитные свойства пластин сердечника очень неблагоприятно влияет любая механическая обработка. Резание, изгиб, подпиливание и даже давление изменяют структуру материала и тем самым ухудшают его магнитные свойства, уменьшают крутизну кривой намагничивания и проницаемость. Для восстановления первоначальных свойств материала после механической обработки его подвергают термообработке, например отжигая в водороде при 1 100° С.

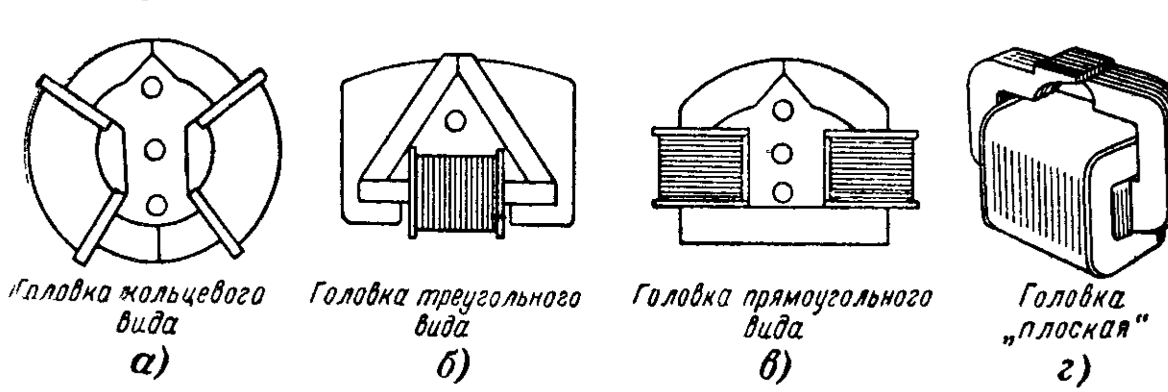


Рис. 46. Основные виды конструкции магнитных головок.

Зазоры головок заполняются фольгой из бериллиевой бронзы. Фольга должна иметь такую же твердость, как и сердечник головки, чтобы выработка обоих материалов при работе головки была равномерной и на пути ленты не создавались бы выемки или бугорки. Малые зазоры (порядка 5 *мк*) можно также заполнять гальваническим покрытием поверхностей зазора.

Срок службы головок зависит от скорости движения ленты, ее натяжения, а также гладкости поверхности ленты.

При скорости 76,2 *см/сек* срок службы составляет 500—1 000 *ч*. При малых скоростях срок службы во много раз увеличивается.

Для уменьшения износа в рабочую поверхность головки иногда заделываются агатовые вкладыши.

В настоящее время сердечники из пермаллоя заменяются ферритовыми. Они более твердые и обеспечивают

почти 10-кратный срок службы по сравнению с пермаллоевыми. Постоянство электрических параметров таких головок позволяет применять их в качестве эталонных для периодических контрольных измерений и корректировки усилительных устройств.

Ферритовые головки имеют, кроме того, меньше потерь на вихревые токи, что позволяет уменьшить мощность, потребляемую стирающей головкой, до 0,1—0,2 *вт* вместо 2—4 *вт* при пермаллое. Малые потери позволяют значительно уменьшить ток подмагничивания у записывающих головок.

Эффективная ширина зазора воспроизводящей головки получается несколько больше при ферритовом сердечнике за счет меньшей проницаемости феррита по сравнению с пермаллоем. Шум воспроизводящей ферритовой головки меньше, чем у головок из пермаллоя или мюметалла, так как потери в ней незначительны и остаточная индукция мала.

27. Стирающая головка

Высокочастотное стирание в настоящее время производится почти исключительно головками кольцевого типа. Сердечник головки склеивается из пластин материала с большей проницаемостью или прессуется из ферритов. Рабочий зазор шириной 0,2—0,5 *мм* заполняется прокладкой из бериллиевой бронзы. В этой прокладке возникают вихревые токи, и вторичное магнитное поле, взаимодействуя с магнитным потоком в сердечнике, как бы «выталкивает» этот поток из зазора в ленту.

Для стандартной кольцевой стирающей головки с зазором 0,5 *мм* требуется магнитодвижущая сила примерно 18 *ав*. Если каждая из двух катушек головки имеет по 75 витков, то ток стирания равен 125 *ма*.

28. Записывающая головка

Записывающая головка создает н.ч. магнитное поле записываемого сигнала и поле в.ч. подмагничивания. Магнитное поле в зазоре головки должно быть резко ограничено, а его амплитуда во всем частотном диапазоне должна быть прямо пропорциональна н.ч. записывающему току. Напряженность магнитного поля должна быть достаточной для нормального намагничивания ленты звуконосителя. Частота собственного резонанса головки, создаваемого

индуктивностью и емкостью катушек, должна быть равна или выше частоты в.ч. подмагничивания.

Размеры сердечника головки выбираются такими, чтобы исключалась возможность насыщения сердечника полем подмагничивания. С этой же целью в головке делается дополнительный задний зазор, который, кроме того, спрямляет характеристику зависимости величины магнитной индукции в сердечнике от силы н. ч. тока записи. Задний зазор в сердечнике уменьшает также возможность возникновения постоянной остаточной индукции. Ширина заднего зазора выбирается порядка 0,4 *мм.*

Как у всех головок, сердечник склеивается из тонких пластин. Потери энергии на гистерезис и вихревые токи в сердечнике должны быть сведены до минимума, так как они ухудшают частотную характеристику записи.

Полное электрическое сопротивление головки практически определяется индуктивным сопротивлением $Z=\omega L$ катушек и возрастает пропорционально частоте.

Для того чтобы н.ч. ток записи, возбуждающий поле головки, не зависел от частоты сигнала, необходимо, чтобы внутреннее сопротивление источника сигнала было больше полного сопротивления головки. Выполнение этого условия требует небольшой индуктивности записывающей головки (порядка 10—100 *мгн*) за счет малого числа витков. При большем числе витков, кроме того, возрастает собственная емкость обмоток и уменьшается действие тока подмагничивания, так как значительная часть его замыкается через эту емкость.

29. Воспроизводящая головка

Самые большие требования предъявляются к воспроизводящим головкам. Зазор головки должен быть очень малым, в особенности при малых скоростях ленты. Сердечник головки обычно сужается у зазора для повышения чувствительности головки. Однако уменьшение сечения сердечника у зазора повышает в этом месте его магнитное сопротивление и тем самым увеличивает действующую ширину зазора. Поэтому степень сужения выбирается компромиссным путем.

Постепенным изнашиванием сердечника у зазора головки его сечение уменьшается, повышается чувствительность, но одновременно увеличивается и эффективная ширина зазора, что ведет к завалу высоких частот. Для

компенсации завала необходимо, чтобы в усилителе воспроизведения была предусмотрена возможность корректирования частотной характеристики. При большем износе головки, когда корректировка уже не помогает, ее нужно сменить.

Очень важно, чтобы сердечник воспроизводящей головки имел незначительную остаточную индукцию, так как она создает большие шумы при воспроизведении. Потери на гистерезис и вихревые токи в сердечнике возрастают с повышением частоты, в результате чего понижается проницаемость сердечника, увеличивается эффективная ширина зазора и происходит завал высоких частот. Для ослабления потерь толщина пластин сердечника у воспроизводящих головок берется не более 0,2 *мм.*

Резонансная частота головки должна быть выше диапазона воспроизводимых частот, в противном случае необходима специальная корректировка характеристики в усилителе. В воспроизводящей головке не делается задний зазор, чтобы не снижалась ее чувствительность.

Сложной проблемой является экранировка головки от воздействия внешних магнитных полей. Головка прежде всего должна быть малой, так как воздействие полей пропорционально размерам головки. Головка должна быть удалена от источников сильных магнитных полей (моторы, трансформатор). Полезно эти источники ориентировать так, чтобы поле наводок на головку было наименьшим, иногда их даже помещают в магнитный экран. Сама головка защищается экраном из пермаллоя или мюметалла. Однако эти материалы сами очень быстро насыщаются даже слабыми полями, вследствие чего их экранирующее действие сильно понижается. Поэтому оказывается целесообразным двойная экранировка. Наружная часть экрана изготовляется из материала, требующего для насыщения большой магнитной индукции. За счет наружного экрана напряженность поля помехи уменьшается и уже ослабленное поле экранируется вторично пермаллоем. Помехи от высокочастотных магнитных полей точно также сперва ослабляются медным экраном за счет вихревых токов, а затем уже применяется экран из пермаллоя.

Удачная конструкция головки сама по себе может ограничить влияние внешних магнитных полей. Например, у воспроизводящей головки с двумя симметрично расположенными катушками внешнее магнитное поле индуктирует в них противофазное напряжение, и при определенном со-

единении катушек результирующее напряжение помехи равно нулю.

В некоторых случаях, помимо экранировки, приходится применять и компенсирующую катушку из нескольких витков проволоки, включенных последовательно с головкой. Напряжение помехи, индуктированное в этой катушке, по

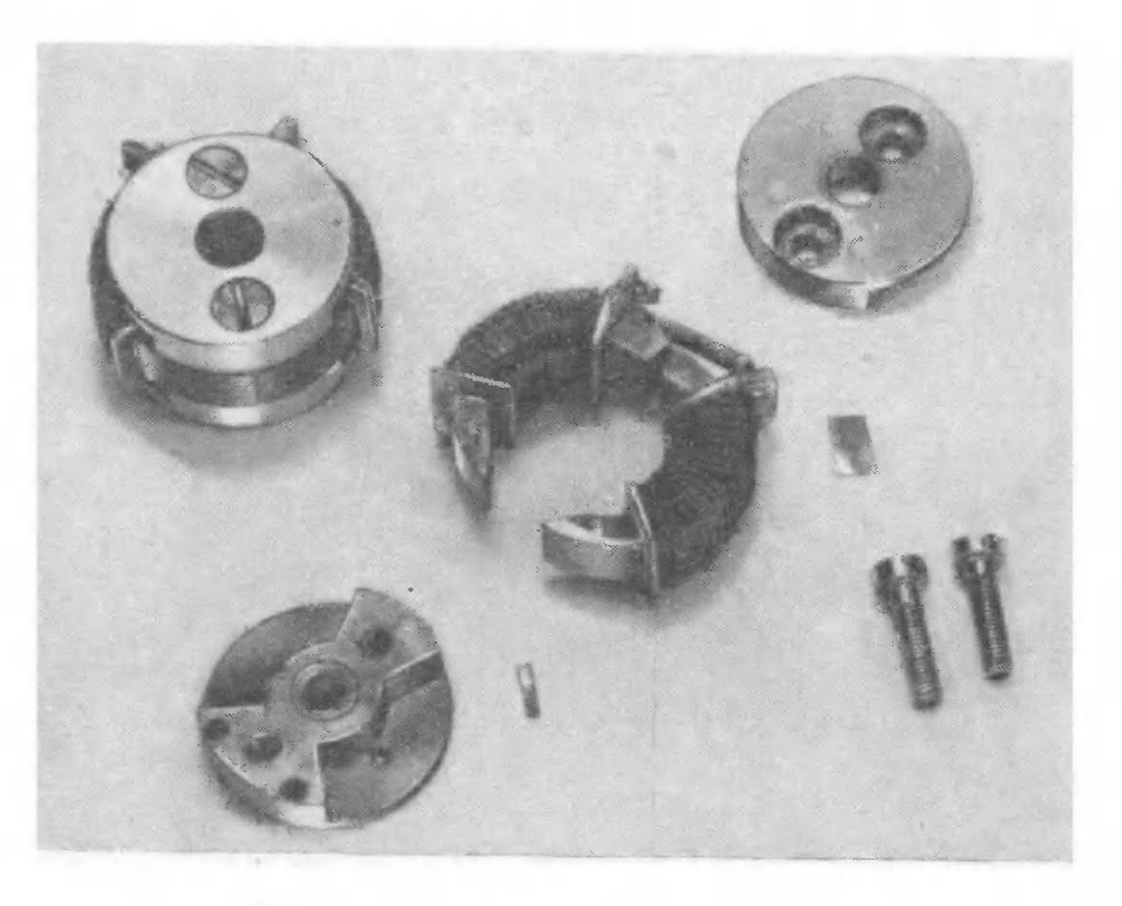


Рис. 47. Детали кольцевой головки.

фазе противоположно напряжению помехи, индуктированному в обмотке головки. Полной компенсации можно добиться подбором расположения катушки по отношению к головке.

В зависимости от числа витков обмотки воспроизводящие головки бывают с большим и малым сопротивлениями. Для головки с малым сопротивлением необходим переходный трансформатор в усилителе. Головки с малым сопротивлением применяют при больших расстояниях до усилителя воспроизведения, так как при высокоомной головке емкость соединительной проводки сильно ухудшила бы воспроизведение высоких звуковых частот.

На рис. 47 показана кольцевая головка в собранном виде и основные ее части.

30. Универсальные (комбинированные) головки

Стирающая головка всегда делается отдельной, но записывающая и воспроизводящая головки в простых и дешевых аппаратах часто объединяются. При этом получается экономия не только одной головки, но и места; исключается, однако, возможность прослушивания с ленты во время записи.

В конструктивном отношении универсальная (комбинированная) головка является компромиссом между записывающей и воспроизводящей головками. Она снабжена задним зазором; обмотки для записи и воспроизведения бывают или отдельными, или общими.

Универсальные головки склонны к шумам при воспроизведении, так как от действия в роли записывающей в их сердечниках всегда остается некоторая намагниченность, поэтому универсальные головки необходимо время от времени размагничивать разрядом конденсатора через обмотку или переменным полем размагничивающего электромагнита.

31. Особые конструкции головок

При двухдорожечной звукозаписи применяются головки стандартных конструкций, но рабочая высота сердечника уменьшается. Остальная часть сердечника делается из немагнитного материала и, дополняя первую, создает необ-

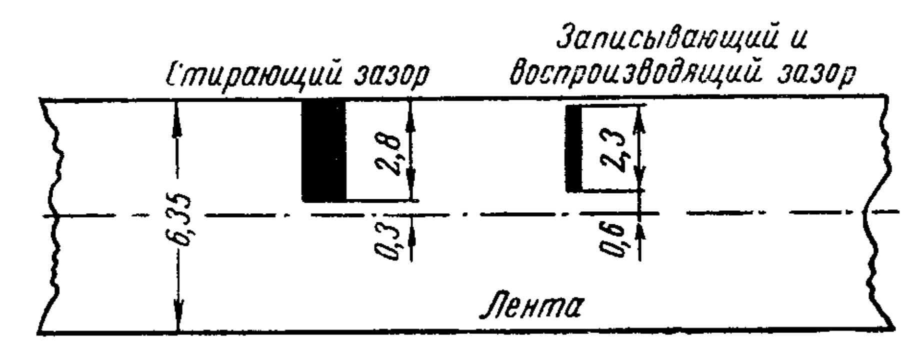


Рис. 48. Запись узкой дорожки.

ходимую поверхность для скольжения ленты. Запись ведется примерно на одной трети ширины ленты (рис. 48).

Большинство лентопротяжных механизмов строится так, что направление движения ленты получается слева направо. Если головки расположены зазором в направлении к лентопротяжному механизму (рис. 49), то запись и воспроизведение ведутся на нижней половине ленты. Если зазоры головок повернуты в сторону лица, производящего запись, то запись и воспроизведение ведутся на

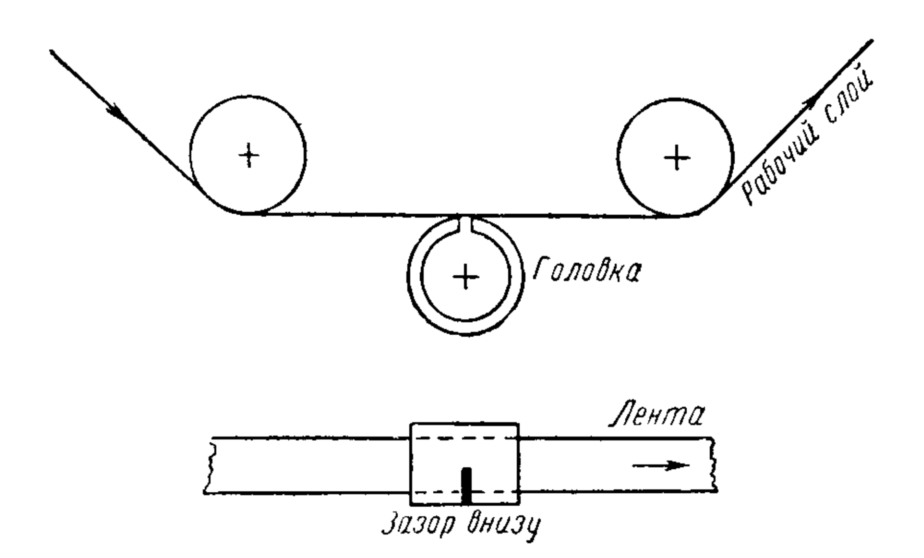


Рис. 49. Двухдорожечная запись при нижнем положении головки.

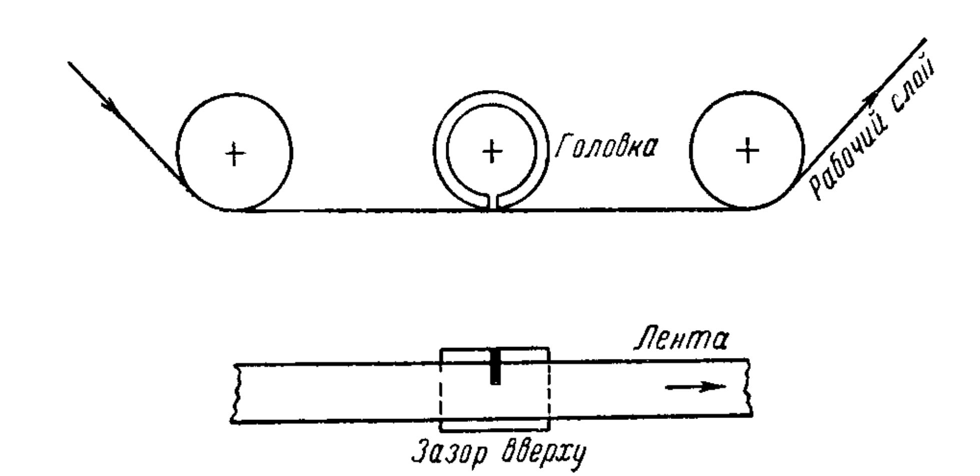


Рис. 50. Двухдорожечная запись при верхнем положении головки.

верхней половине ленты (рис. 50). Кассеты с лентой всегда располагаются так, чтобы рабочий слой ленты прилегал к головкам. Для использования второй дорожки кассеты меняют местами, и запись на ленту ведется в прежнем направлении. Общее время записи тем самым удваивается.

При стереофонической записи обе дорожки записываются и воспроизводятся одновременно при помощи сдвоенных головок (рис. 51). Головки разделены немагнитной прокладкой из такого же материала, как и прокладка в зазоре головки. Объемный эффект звучания определяется главным образом бо-

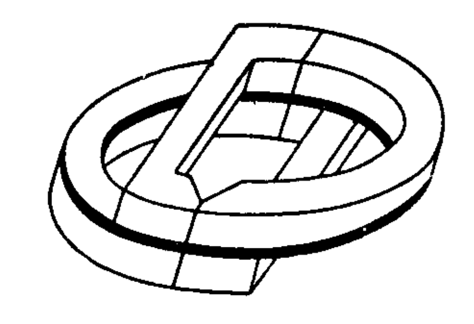


Рис. 51. Конструкция сердечника головки для стереофонической записи.

лее высокими частотами, которым соответствуют сравнительно короткие длины волн записи, при которых взаимные помехи соседних дорожек малы. На более же низких частотах возрастание взаимного влияния дорожек не искажает объемного звучания.

32. Ширина зазора, экранировка и размагничивание головок

При описании конструкции головок не приводилась ширина рабочего зазора, так как его величина определяется скоростью ленты. Для скорости 76,2 *см/сек* она обычно

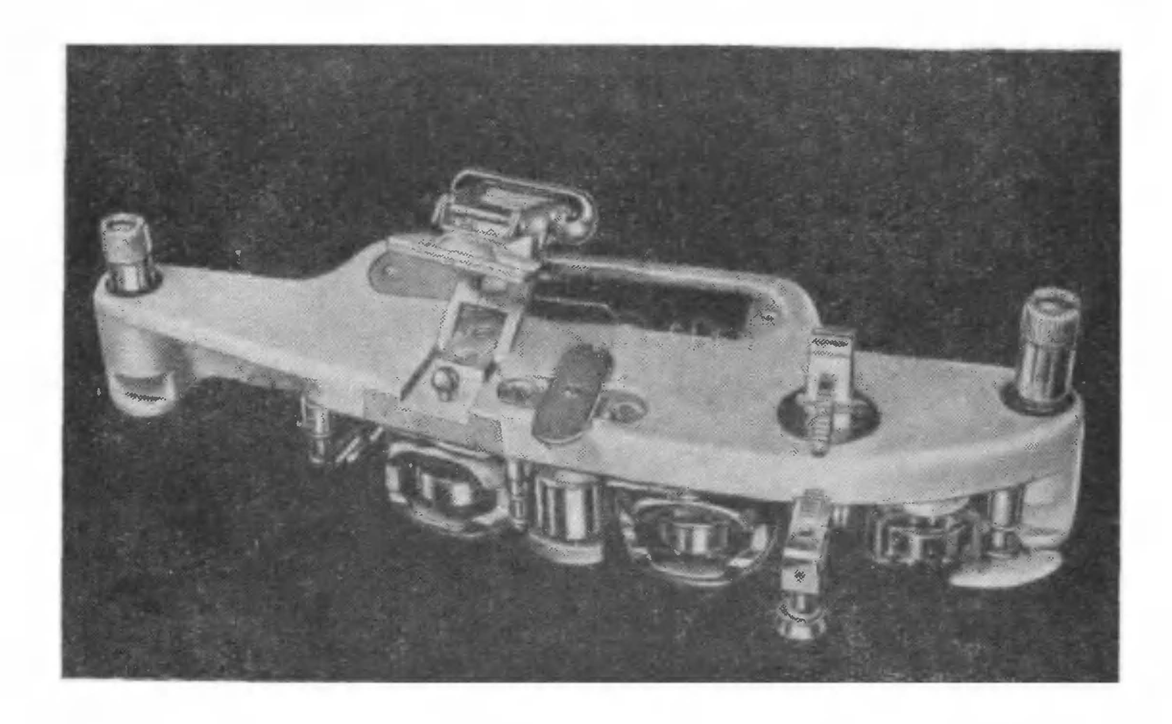


Рис. 52. Общий вид блока магнитных головок.

равна: для записи 28 *мк*, для воспроизведения 14 *мк*. При скорости 19,05 *см/сек* применяют ширину зазора 14 *мк* для записи и 10 *мк* для воспроизведения. При той же скорости в универсальных головках зазор выбирают около 14 *мк*. При скорости 9,53 *см/сек* зазор сужается до 5 *мк*.

Все виды головок экранируются от воздействия внешних магнитных полей. Требования к экранировке не столь жестки у стирающей и записывающей головок, но воспроизводящую головку необходимо экранировать очень тщательно.

Размагничивание головок производится или размагничивающим электромагнитом, применяемым также для стирания ненужных записей, или разрядом конденсатора через

обмотку. В первом случае электромагнит подносится к головке и затем медленно удаляется, чтобы размагничивание происходило по все уменьшающимся петлям гистерезиса. Электромагнит следует выключать и включать лишь на таком расстоянии, когда его поле уже не может воздействовать на головку.

На рис. 52 показан блок магнитных головок фирмы Телефункен. Между воспроизводящей и записывающей головками расположен вращающийся ролик, демпфирующий продольные колебания ленты. Над роликом видна пластинка, прикрывающая винты для корректировки положения записывающей и воспроизводящей головок, укрепленных на пружинящих пластинах. Передняя часть экрана воспроизводящей головки откинута вверх.

В табл. 4 приведены данные магнитных головок Телефункен.

Таблица 4

Данные магнитных головок Телефункен

Вид головки	Индуктивность, *гн*	Зазор, *мк*		В. ч. ток, *ма*	Число витков
		передний	задний		
Стирающая	0,002	500	0	160	2×75
Записывающая	0,007	40	300	10—15	2×150
Воспроизводящая . . .	0,07	20	0	—	2×320
Воспроизводящая . . .	8,0	20	0	—	2×2 800
Комбинированная . . .	1,0	20	0	1	2×1 000

33. Расчет магнитных головок

Расчет магнитных головок получается приближенным из-за невозможности точного учета магнитного рассеяния. Данные о нем можно получить лишь измерением готовой головки. При разработке головок для данного сердечника и требуемой индуктивности L расчетом определяют число витков; затем измеряют действительное значение индуктивности намотанных катушек головки и пересчетом определяют правильное число витков. Для записывающей и стирающей головок расчетом определяют максимальное значение тока, при котором появляется насыщение сердечника в самом узком сечении. Это значение тока в эксплуатации никогда не должно превышаться.

33-1. Последовательность расчета

Для данного сердечника и требуемой индуктивности L определяем число витков

$$N = \sqrt{LR_m}\,[гн,\ ав/вб].$$

Для воспроизводящих головок, имеющих наиболее узкие зазоры, магнитное сопротивление определяется по формуле

$$R_m = \frac{1}{\mu_0}\left(\frac{l_j}{\mu_p S_j} + \frac{l_p}{\rho_p S_p}\right)\ [ав/вб,\ гн/м,\ м,\ м^2],$$

где $\frac{1}{\mu_0} = 0{,}796 \cdot 10^6$ *гн/м*;

l_j — длина средней силовой линии в сердечнике, *м*;
l_p — ширина рабочего зазора, *м*;
S_j — сечение магнитного материала сердечника, $м^2$;
S_p — сечение сердечника у рабочего зазора, $м^2$;
μ_p — начальная проницаемость сердечника;
ρ_p — коэффициент рассеяния в рабочем зазоре.

У записывающих и стирающих головок, где зазоры сравнительно широки, можно пренебречь магнитным сопротивлением сердечника.

Для записывающей головки с задним зазором получим:

$$R_m = \frac{1}{\mu_0}\left(\frac{l_p}{\rho_p S_p} + \frac{l_z}{\rho_z S_j}\right)\ [ав/вб;\ гн/м,\ м,\ м^2].$$

Для стирающей головки

$$R_m = \frac{l_p}{\mu_0 \rho_p S_p}\ [ав/вб;\ гн/м,\ м,\ м^2].$$

В приведенных двух формулах

$\frac{1}{\mu_0} = 0{,}796 \cdot 10^6$ *гн/м*;
l_p — ширина рабочего зазора, *м*;
l_z — ширина заднего зазора, *м*;
S_p — сечение сердечника у рабочего зазора, $м^2$;
S_j — сечение сердечника у заднего зазора, $м^2$;
ρ_p — коэффициент рассеяния в рабочем зазоре;
ρ_z — коэффициент рассеяния в заднем зазоре.

Коэффициент рассеяния ρ определяет, во сколько раз увеличивается сечение магнитного потока в зазоре по сравнению с сечением потока в сердечнике. Его примерное значение определяется из опытных данных:

$$\rho = 1 + \alpha l_v \frac{a + b}{ab},$$

где l_v — ширина зазора, *м*;
a, b — размеры сечения сердечника около зазора, *м*;
α — коэффициент, зависящий от формы зазора.

Для зазоров в равномерном сечении сердечника, например для заднего зазора записывающей головки, $\alpha = 1 \div 2$. Для зазоров в суженном профиле сердечника, т. е. для переднего рабочего зазора, $\alpha = 2 \div 8$. Если по найденному из расчета значению числа витков N намотать катушку головки, то измерением можно определить ее действительную индуктивность L_n. Из соотношений индуктивностей требуемой L и измеренной L_n определяем поправочный коэффициент

$$k = \frac{L}{L_n}$$

и снова рассчитываем число витков N_k для требуемой индуктивности:

$$N_k = N\sqrt{k}.$$

Затем определяем действительное значение магнитного сопротивления R_{mk} из расчетного с учетом k, т. е.

$$R_{mk} = R_m k.$$

У записывающей головки нет необходимости в точном подборе витков, так как требуемой индуктивности можно легко достичь изменением магнитного сопротивления сердечника путем изменения ширины заднего зазора. При увеличении зазора индуктивность уменьшается и наоборот.

Эффективному значению тока в обмотке головки $I_{эфф}$ соответствует максимальная индукция в сердечнике

$$B_{макс} = \frac{N I_{эфф} \sqrt{2}}{S R_{mk}}\ [вб/м^2,\ а,\ м^2,\ ав/вб].$$

В этом выражении S обозначает сечение магнитопровода в том месте сердечника, для которого определяют магнитную индукцию. Если S приравнять сечению сердечника у рабо-

чего зазора, то рассчитанное значение $B_{\text{макс}}$ является максимальной индукцией в зазоре головки, но без учета рассеяния. Действительное значение индукции в зазоре головки будет всегда меньше.

Предельное эффективное значение тока записывающей и стирающей головок определяется исходя из допустимой максимальной индукции:

$$I_{\text{эфф макс}} = \frac{B_{\text{макс}} S R_{mk}}{N\sqrt{2}};$$

здесь сечение S соответствует наименьшему сечению сердечника, т. е. сечению в рабочем зазоре. У записывающей головки ток $I_{\text{эфф.макс}}$ определяется арифметической суммой эффективных значений в. ч. тока подмагничивания и н. ч. тока записи.

Намотока катушки делается проводом с лаковой изоляцией наибольшего диаметра с полным использованием площади окна. При большем диаметре провода уменьшается не только его сопротивление, но и потери мощности на нагрев. В нормальных рабочих условиях у записывающих головок эти потери незначительны. У обмоток стирающих головок допустимое значение плотности тока σ выбирается 2 $а/мм^2$, и, следовательно, наибольший допустимый ток в обмотке будет равен:

$$I_{\text{эфф.макс}} = \sigma \frac{\pi d^2}{4},$$

где σ — плотность тока, $а/мм^2$;

d — диаметр провода без изоляции, *мм*.

Превышение этого значения тока не допускается.

33-2. Пример расчета

На рис. 53 даны размеры сердечника головки кольцевого типа. Сердечник составлен из 30 пермаллоевых пластин толщиной 0,2 *мм*; начальная проницаемость $\mu_р = 10\,000$.

Для заданных ширины зазора и индуктивности обмотки необходимо определить число витков для стирающей, записывающей и воспроизводящей головок.

Обозначения и размерности

Сечение сердечника, включая слой клея между пластинами:

$$S_j = 6{,}8 \cdot 3{,}5 = 23{,}8\ мм^2 = 2{,}38 \cdot 10^{-5}\ м^2.$$

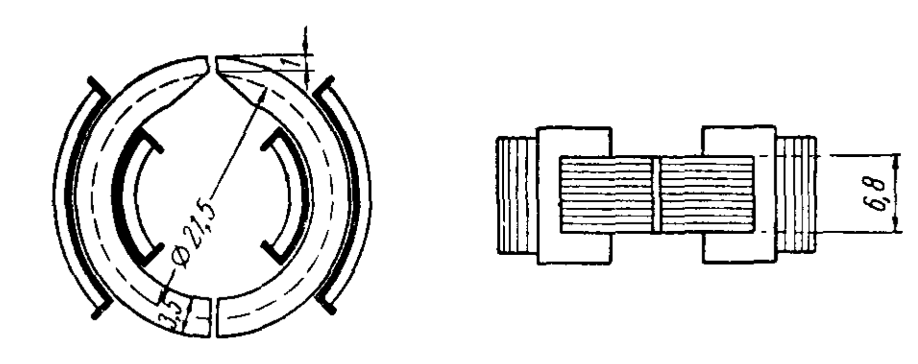


Рис. 53. Размеры головки кольцевого типа.

Сечение магнитного материала в сердечнике:

$$S_{jz} = 30 \cdot 0{,}2 \cdot 3{,}5 = 21\ мм^2 = 2{,}1 \cdot 10^{-5}\ м^2.$$

Сечение сердечника в рабочем зазоре:

$$S_р = 6{,}8\ мм^2 = 6{,}8 \cdot 10^{-6}\ м^2.$$

Сечение магнитного материала в рабочем зазоре:

$$S_{рz} = 30 \cdot 0{,}2 \cdot 1 = 6{,}0\ мм^2 = 6 \cdot 10^{-6}\ м^2.$$

Длина средней силовой линии:

$$l_j = \pi \frac{d_1 + d_2}{2} = \pi \frac{2{,}5 + 1{,}8}{2} = 6{,}75\ см = 6{,}75 \cdot 10^{-2}\ м$$

33-3. Стирающая головка

Задано: индуктивность $L = 2\ мгн - 2 \cdot 10^{-3}\ гн$;

ширина зазора $l_р = 500\ мк = 5 \cdot 10^{-4}\ м$.

Для коэффициента рассеяния $\rho_р$ берем $\alpha = 6$

$$\rho_р = 1 + \alpha l \frac{a + b}{ab} =$$

$$= 1 + 6 \cdot 5 \cdot 10^6 \frac{(1 + 6{,}8) \cdot 10^{-3}}{6{,}8 \cdot 10^{-6}} = 1 + 3{,}44 = 4{,}44.$$

Магнитное сопротивление

$$R_m = \frac{l_р}{\mu_0 \rho_р S_р} =$$

$$= 0{,}796 \cdot 10^6 \cdot \frac{5{,}10^{-4}}{4{,}44 \cdot 6{,}8 \cdot 10^{-6}} = 0{,}132 \cdot 10^8 = 1{,}32 \cdot 10^7\ ав/вб.$$

Число витков

$$N=\sqrt{LR_m}=\sqrt{2\cdot10^{-3}\cdot1{,}32\cdot10^7}=\sqrt{2{,}64\cdot10^4}=162{,}5.$$

Измеренная индуктивность $L_n=2{,}35$ *мгн*.

Поправочный коэффициент

$$k=\frac{L}{L_n}=\frac{2}{2{,}35}=0{,}852.$$

Исправленное число витков для требуемой индуктивности $L=2$ *мгн* будет:

$$N_k=N\sqrt{k}=162{,}5\cdot0{,}922=150.$$

Действительное магнитное сопротивление

$$R_{mk}=R_m k=1{,}32\cdot10^7\cdot0{,}852=1{,}125\cdot10^7 \text{ ав/вб}.$$

Максимальный допустимый ток для $B_{\text{макс}}=0{,}8$ *вб/м²* (т. е. 8 000 гаусс) будет:

$$I_{\text{эфф.макс}}=\frac{B_{\text{макс}}S_{pz}R_{mk}}{N\sqrt{2}}=$$

$$=\frac{0{,}8\cdot6\cdot10^{-6}\cdot1{,}125\cdot10^7}{1{,}5\cdot10^2\cdot1{,}414}=2{,}56\cdot10^{-1}=256 \text{ ма}.$$

33-4. Записывающая головка

Задано: индуктивность $L=7$ *мгн* $=7\cdot10^{-3}$ *гн*;

ширина рабочего зазора $l_p=40$ *мк* $=4\cdot10^{-5}$ *м*;

ширина заднего зазора $l_z=300$ *мк* $=3\cdot10^{-4}$ *м*.

Сначала определяется коэффициент рассеяния для рабочего зазора при выбранном $\alpha=4$:

$$\rho_p=1+\alpha l_p\frac{a+b}{ab}=1+4\cdot4\cdot10^{-5}\cdot\frac{(1+6{,}8)\cdot10^{-3}}{6{,}8\cdot10^{-6}}=1{,}183.$$

Для заднего зазора принимаем $\alpha=1$ и тогда коэффициент рассеяния будет:

$$\rho_z=1+3\cdot10^{-4}\cdot\frac{(3{,}5\cdot6{,}8)\cdot10^{-3}}{3{,}5\cdot6{,}8\cdot10^{-6}}=1{,}13.$$

Полное магнитное сопротивление цепи

$$R_m=\frac{1}{\mu_0}\left(\frac{l_p}{\rho_p S_p}+\frac{l_z}{\rho_z S_j}\right)=0{,}796\cdot10^6\times$$

$$\times\left(\frac{4\cdot10^{-5}}{1{,}183\cdot6{,}8\cdot10^{-6}}+\frac{3\cdot10^{-4}}{1{,}13\cdot2{,}38\cdot10^{-5}}\right)=1{,}282\cdot10^7 \text{ ав/вб}.$$

Число витков для требуемой индуктивности $L=7$ *мгн*

$$N=\sqrt{LR_m}=\sqrt{7\cdot10^{-3}\cdot1{,}282\cdot10^7}=300.$$

Измеренная индуктивность катушек $L_n=7$ *мгн*, т. е. совпадает в данном случае с требуемой.

Максимальный допустимый ток для $B_{\text{макс}}=0{,}8$ *вб/м²*

$$I_{\text{эфф.макс}}=\frac{B_{\text{макс}}S_{pz}R_m}{N\sqrt{2}}=\frac{0{,}8\cdot6\cdot10^{-6}\cdot1{,}282\cdot10^7}{2\cdot10^2\cdot1{,}414}=145 \text{ ма}.$$

Такого значения ток в записывающей головке никогда не достигает, так как высокочастотный ток подмагничивания бывает порядка 15 *ма*.

33-5. Воспроизводящая головка

Задано: индуктивность $L=70$ *мгн* $=7\cdot10^{-2}$ *гн*;

ширина рабочего зазора $l_p=20$ *мк* $=2\cdot10^{-5}$ *м*.

Коэффициент рассеяния при принятом $\alpha=4$

$$\rho_p=1+4\cdot2\ 10^{-5}\cdot\frac{(1+6{,}8)\cdot10^{-3}}{6{,}8\cdot10^{-6}}=1{,}0918.$$

Магнитное сопротивление

$$R_m=\frac{1}{\mu_0}\left(\frac{l_j}{\mu_p S_{jz}}+\frac{l_p}{\rho_p S_p}\right)=0{,}796\cdot10^6\times$$

$$\times\left(\frac{6{,}75\cdot10^{-2}}{10^4\cdot2{,}1\cdot10^{-5}}+\frac{2\cdot10^{-5}}{1{,}0918\cdot6{,}8\cdot10^{-6}}\right)=2{,}44\cdot10^6 \text{ ав/вб}.$$

Число витков

$$N=\sqrt{LR_m}=\sqrt{7\cdot10^{-2}\cdot2{,}4\cdot10^6}=410.$$

Измеренная индуктивность $L_n=53$ *мгн*.

Поправочный коэффициент

$$k = \frac{L}{L_n} = \frac{70}{53} = 1{,}26.$$

Исправленное число витков для требуемой $L = 70$ *мгн*

$$N_k = N\sqrt{k} = 410 \cdot 1{,}12 = 460.$$

Действительное магнитное сопротивление сердечника

$$R_{mk} = R_m k = 2{,}4 \cdot 10^6 \cdot 1{,}26 = 3{,}02 \cdot 10^6 \text{ ав/вб}.$$

ГЛАВА ПЯТАЯ

ЗВУКОНОСИТЕЛИ ДЛЯ МАГНИТНОЙ ЗАПИСИ

Качество звукозаписи определяется прежде всего магнитными свойствами звуконосителей. Ими же определяется развитие записывающей и воспроизводящей аппаратуры. В настоящее время уже возможна запись звука при очень незначительной скорости движения ленты без ухудшения частотной характеристики и динамического диапазона.

Звуконосители можно подразделить на металлические и порошковые, в которых на немагнитной основе (пластмассе) нанесен тонкий ферромагнитный слой.

34. Металлические звуконосители

Металлические звуконосители применяются в форме проволоки или ленты. Датчанин Паульсен применил еще в 1898 г. в своем аппарате, названном «Телеграфон», стальную струну диаметром около 0,5 *мм*. С той поры было разработано много видов металлических звуконосителей, основой которых была углеродистая сталь. Они имели коэрцитивную силу около 0,5 *а/м* и остаточную индукцию более 0,7 *вб/м*² и позволяли воспроизводить запись без усилителей прямо на телефонные трубки.

В радиовещании Чехословакии для звукозаписи применялась, например, аппаратура, работающая на ленте из нержавеющей стали. Несмотря на некоторые преимущества стальных лент и проволок, они все же почти вышли из употребления.

Изготовлялись также биметаллические звуконосители: в них на немагнитную основу (латунь, бронза) гальваническим способом наносился ферромагнитный слой. Но и они почти вышли из употребления, не имея особо хороших магнитных свойств.

35. Порошковые звуконосители

В 1928 г. в Германии Пфлеумер применил ленту из бумаги, а затем из пластмассы с нанесенным на ней ферромагнитным порошком. Начиная с 1932 г., этот способ усовершенствовался, и новый тип ленты, обладая хорошими качествами, начал вытеснять металлические звуконосители.

К преимуществам лент относятся отличные магнитные свойства, простота склеивания и удобство монтажа записи, незначительный вес ленты и ее дешевизна.

В настоящее время применяются два вида лент: сплошные и слоистые. Слоистые ленты имеют нанесенный наружный слой ферромагнитного порошка; в сплошных лентах частицы ферромагнитного порошка рассеяны по всему сечению ленты.

В качестве ферромагнитного порошка чаще всего применяют окись железа (Fe_2O_3), которую легко получить синтетическим путем. Эта окись имеет достаточную величину коэрцитивной силы и остаточной индукции. Иногда применяются и другие ферромагнитные материалы, позволяющие получить измельченный порошок с нужной величиной зерен. Размер зерен бывает от 0,1 до 1 *мк*, причем очень важна однородность размеров зерен и их равномерное размещение в связующем веществе.

У слоистых лент ферромагнитный порошок наносится методом полива на гибкую немагнитную основу из ацетилцеллюлозы или поливинилхлорида. В качестве связующего для порошка чаще всего применяется нитролак. Содержание порошка в лаке 25—35% объемных единиц. Толщина рабочего (порошкового) слоя 12—15 *мк*, общая толщина ленты 50—60 *мк* или меньше. При более толстом рабочем слое получается увеличение выходного напряжения воспроизводимого сигнала на низких частотах и уменьшение на высоких в результате более сильного внутреннего саморазмагничивания.

В сплошных лентах ферромагнитный порошок смешивается с пластмассой (поливинилхлорид) в соотношении 1 : 1, при определенной температуре развальцовывается

в широкую пленку толщиной 40—50 *мк* и затем разрезается на ленты нормальной ширины.

Преимущество сплошных лент — в более гладкой поверхности, уменьшающей как уровень шумов, так и износ головок, а также в повышенной чувствительности на низких частотах за счет большей толщины рабочего слоя. Недостатком является значительный копир-эффект, так как в лентах этого типа нет разделяющего немагнитного слоя основы Сплошные ленты имеют одинаковую чувствительность с обеих сторон, но, конечно, воспроизведение должно производиться с той стороны, с которой велась запись. Для исключения ошибок на неиспользуемой стороне ленты обычно делаются знаки с указанием завода-изготовителя.

35-1. Магнитные свойства лент

Величина коэрцитивной силы у современных лент колеблется от 2,5 до 6 *а/м*. Более высокие значения были бы желательны для записи высоких частот, но создавали бы затруднения при стирании записи

Остаточная индукция лент находится в пределах 0,03—0,07 *вб/м*^{2}. Величина ее ограничена тем, что отдельные частицы порошка изолированы связующим веществом; магнитное сопротивление ленты от этого возрастает, а эффективная остаточная индукция уменьшается. Немагнитное связующее влияет на величину остаточной индукции так же, как воздушный зазор в замкнутой магнитной цепи.

Важной магнитной характеристикой лент является отношение величин коэрцитивной силы и остаточной индукции, причем чем оно больше, тем лучше лента. Обычно это отношение обозначают через коэффициент R, равный:

$$R = \frac{H_c}{B_{r\ \text{макс}}}.$$

Магнитные и механические свойства должны быть одинаковыми на всем протяжении ленты, не должны изменяться от температуры и влажности, а также со временем.

35-2. Механические свойства лент

Ширина ленты раньше была 6,5 *мм*; в настоящее время она установлена равной 6,25±0,05 *мм* при толщине не более 60 *мк*.

При испытании на разрыв лента выдерживает не менее 2,5 *кг* при длине испытуемого образца 100 *мм* Упругое

растяжение ленты длиной 1 *м* при нагрузке 1 *кг* в течение 1 *мин* не превышает 1,5%; при снятии нагрузки остаточное растяжение ленты меньше 0,2%.

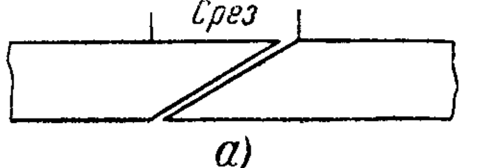
Механические свойства ленты зависят от температуры и влажности, поэтому все испытания проводятся при температуре от 18 до 20° С при относительной влажности 50—60%.

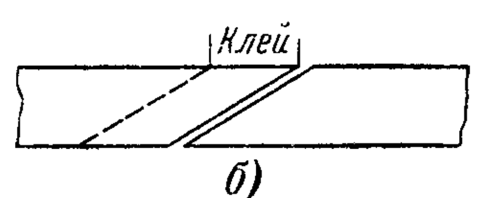
35-3. Разрезание и склеивание ленты

Основы лент изготовляются из разных пластмасс, поэтому для склеивания их нельзя использовать какой-либо универсальный клей. В каждом случае приходится применять состав, рекомендованный заводом-изготовителем.

Ацетилцеллюлозные ленты склеиваются разбавленным раствором уксусной кислоты с примесью камфоры. Поливинилхлоридные ленты склеиваются смесью ацетона и нитробензола (1 : 1) с примесью канифоли.

Резать ленту лучше всего ножницами, изготовленными из немагнитного материала. Применяя стальные ножницы, надо время от времени их размагничивать, иначе при воспроизведении ленты в склеенном месте может прослушиваться «щелчок».





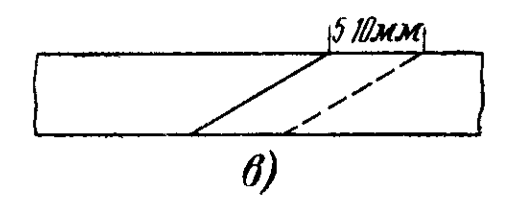




Рис. 54. Способы склеивания лент.

Обрезка ленты производится согласно рис. 54,*а*, затем на один конец ленты кисточкой наносится тонкий слой клея (рис. 54,*б*) и оба конца при легком нажиме склеиваются с перекрытием в 5—10 *мм* (рис. 54,*в*).

Ленты сплошного типа склеиваются при помощи отрезка клейкой ленты (рис. 54,*г*).

35-4. Хранение лент

Ленты с записью нельзя помещать вблизи источников магнитных полей (трансформаторы, моторы, электромагниты). Хранение лучше всего производить в местах с температурой 10—20° С и относительной влажностью 50—60%.

36. Электроакустические показатели лент

Оценка и сравнение качества лент производится по определенным показателям, определяющим пригодность ленты для тех или иных типов магнитофонов. Первым из этих показателей является оптимальная величина тока в. ч. подмагничивания.

36-1. Оптимальное подмагничивание

Величина тока в. ч. подмагничивания влияет на нелинейные искажения, частотную характеристику и динамический диапазон звукозаписи. Оптимальное значение тока подмагничивания должно быть выбрано с учетом всех трех параметров записи.

Выбор можно произвести следующим образом: во время записи к записывающей головке подводится ток с частотой 1 *кгц* или 333 *гц* (первая частота для скорости ленты 76,2 и 38,1 *см/сек,* вторая для скорости 19,05 и 9,53 *см/сек*) и постепенно начинает повышаться ток подмагничивания. Одновременно измеряется выходное напряжение усилителя воспроизведения и величина нелинейных искажений в процентах.

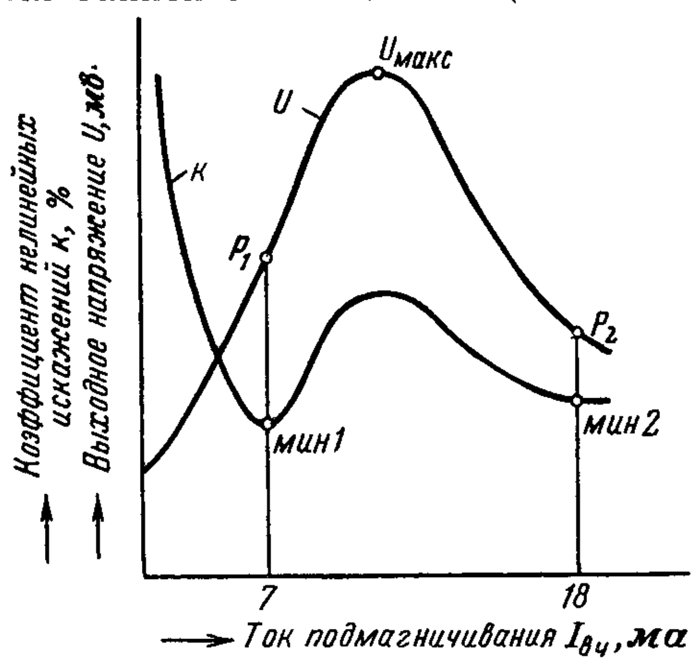


Рис. 55. Выходное напряжение и величина искажений в зависимости от тока подмагничивания.

Нелинейные искажения записываемого сигнала возникают за счет нелинейности кривой намагничивания и характеризуются главным образом появлением в выходном напряжении третьей гармоники. Искажения за счет второй гармоники незначительны, и ими при применении в. ч. подмагничивания можно пренебречь. Степень искажений определяют на специальном приборе (клирфактормессере), так как осциллографом трудно оценить искажения менее 10%.

Оптимальное значение тока подмагничивания соответствует наименьшим искажениям. На рис. 55 изображены примерные кривые изменений выходного напряжения и искажений в зависимости от тока подмагничивания. Минимальные искажения (точка *мин*$_1$) и соответствующая им рабочая точка P_1 определяются током подмагничивания, равным примерно 7 *ма*. Второй минимум искажений (*мин*$_2$) и рабочая точка P_2 получаются при токе подмагничивания 18 *ма*. Повышенное значение тока подмагничивания неблагоприятно влияет на запись высоких частот, уменьшая их амплитуду, и поэтому в случае появления двух минимумов искажений мы выбираем ту рабочую точку (P_1), которая соответствует меньшему значению тока подмагничивания. Однако при этом не достигается наибольшее значение выходного напряжения $U_{\text{макс}}$; с другой стороны, при достижении $U_{\text{макс}}$ заметно возрастают искажения. Окончательно рабочую точку приходится подбирать путем компромисса между величиной искажений и величиной выходного напряжения, устанавливая значение тока подмагничивания так, чтобы коэффициент искажений не превышал значения, установленного для данного класса магнитофона.

Кривые, подобные показанным на рис. 55, приходится снимать для каждого типа ленты и в отдельности определять на них рабочую точку. Такая рабочая точка действительна лишь для той аппаратуры, на которой она была получена. Для того чтобы считать рабочую точку универсальной, необходимо знать число витков записывающей головки и называть не величины тока подмагничивания и тока записи, а соответствующие им магнитодвижущие силы, выраженные в ампер-витках.

36-2. Чувствительность ленты

Чувствительность ленты определяется отношением выходного напряжения испытуемой ленты к выходному напряжению эталонной[1] ленты при условии, что на обеих лентах ведется запись синусоидальных колебаний одной и той же частоты и при одинаковом н. ч. токе записи.

При практическом определении чувствительности записываются колебания с частотой 1 *кгц* сперва на эталонной, затем на испытуемой ленте при уровне сигнала на 16—20 *дб* ниже уровня, соответствующего максимальному

[1] Эталонная лента применяется для относительных измерений свойств лент и для настройки аппаратуры. Ее свойства и показатели определяются соответствующими техническими условиями.

намагничиванию ленты[2] Чувствительность ленты выражается в децибелах. Если выходное напряжение от испытуемой ленты меньше, чем от эталонной, то значение чувствительности будет отрицательным (—*дб*), и наоборот.

36-3. Частотная характеристика

Частотная характеристика была бы идеальной при условии неограниченно большой скорости движения ленты и неограниченно малой ширины зазоров головок Идеальная характеристика изображена на рис 56 прямой пунк-

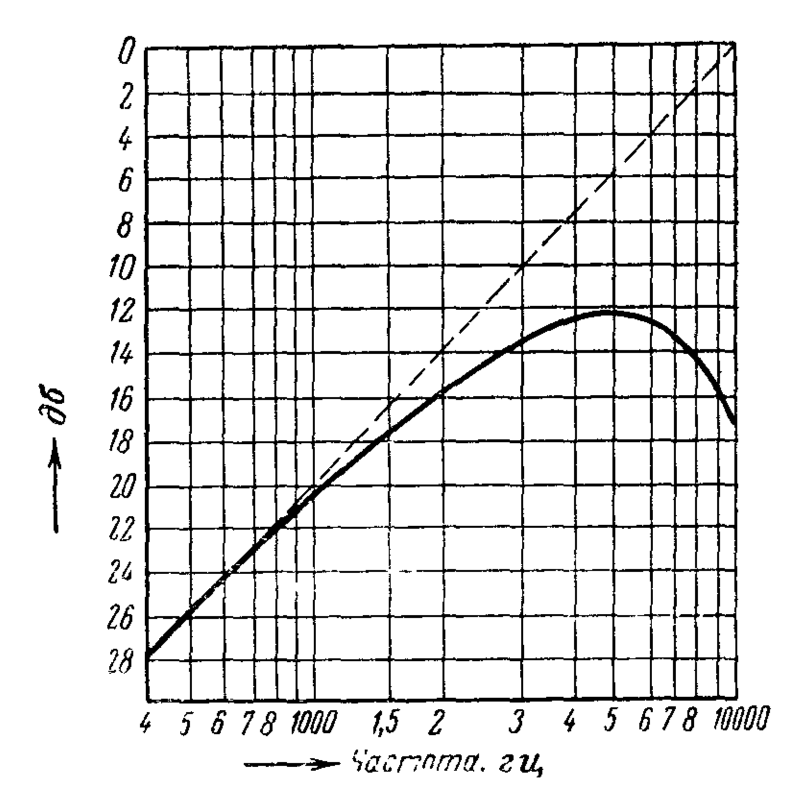


Рис 56. Частотная характеристика ленты.

тирной линией с подъемом 6 *дб* на октаву. Действительная характеристика выглядит иначе и за счет причин, рассмотренных ранее в § 24, приближается к идеальной характеристике лишь на низких частотах, а при повышении частоты достигает определенного максимума и затем начинает спадать (сплошная кривая на рис. 56).

При измерении частотной характеристики ленты применяется большая скорость (76,2 *см/сек*) для уменьшения влияния ширины зазоров. На ленту при оптимальном подмагничивании записываются колебания в широком диапазоне частот при постоянном значении и ч тока записи, который должен быть на 16—20 *дб* меньше тока максимального намагничивания ленты. Одновременно через линейный усилитель измеряется выходное напряжение ненагруженной воспроизводящей головки. Зависимость этого напряжения от частоты и является частотной характеристикой ленты, изображенной на рис. 56.

[2] Максимальным намагничиванием ленты называется такое намагничивание, при котором нелинейные искажения достигают величины, установленной для данного класса магнитофонов

Данные частотной характеристики ленты можно выразить несколькими способами:

а) отношением двух выходных напряжений (*дб*) при частотах 10 *кгц* и 1 *кгц*, одновременно это будет отношением чувствительности при 10 *кгц* к чувствительности при 1 *кгц*;

б) отклонением (*дб*) от идеальной характеристики при частоте 10 *кгц*;

в) длиной волны λ_1, при записи которой получается наибольшее выходное напряжение. У высококачественных лент λ_1 меньше 100 *мк*, у остальных лент λ_1 порядка 100—200 *мк*.

36-4. Нелинейные искажения

При воспроизведении записи сигнала наряду с его основной частотой регистрируется и третья гармоника, возникающая в результате нелинейности кривой намагничивания ленты. Коэффициентом нелинейных искажений ленты называется отношение эффективного напряжения третьей гармоники к эффективному напряжению основной частоты. Определение этого отношения производится при определенном уровне записи, так как степень искажений сильно зависит от величины намагниченности ленты. Приводя данные об искажениях, необходимо, кроме того, приводить и значение тока подмагничивания.

Во время испытаний на ленту записываются колебания с частотой 1 *кгц* при определенном уровне записи и ламповым вольтметром измеряется эффективное напряжение (например, 2 *в*) на выходе усилителя воспроизведения. Затем между усилителем воспроизведения и вольтметром включается фильтр, пропускающий частоты, близкие к 3 *кгц*, и измеряется эффективное значение выходного напряжения третьей гармоники (например, 0,05 *в*). Отношение полученных напряжений и дает коэффициент нелинейных искажений, т. е. в нашем примере: $0{,}05 : 2 = 0{,}025$, или 2,5%.

36-5. *Модуляционный шум*

Модуляционный шум возникает из-за неоднородности рабочего слоя ленты, и его величина пропорциональна текущему значению записываемого н. ч. сигнала. Следовательно, наибольший шум появляется в те моменты, когда ток записи достигает амплитудного значения, и пропадает, когда величина тока проходит через нуль. Модуляционный шум наиболее заметен на фоне высоких звуковых частот— при воспроизведении эти частоты становятся как бы «сиплыми» или «скрипящими».

Достаточно точное измерение уровня модуляционного шума можно произвести следующим образом: сперва лента полностью размагничивается электромагнитом, чтобы исключить возможное влияние остаточного шумового напряжения, возникшего за счет искаженной формы тока стирания; затем при выключенной стирающей головке записываются колебания с частотой 1 *кгц* в режиме оптимального подмагничивания и через усилитель с полосой до 10 *кгц* измеряется выходное напряжение ненагруженной воспроизводящей головки; после этого к записывающей головке наряду с в. ч. током подмагничивания подводится вместо тока н. ч. постоянный ток, равный ранее установленному амплитудному значению тока сигнала 1 *кгц*, и измеряется напряжение шума на ненагруженной воспроизводящей головке. Отношение шумового напряжения к выходному напряжению при частоте 1 *кгц*, выраженное в децибелах, и будет являться относительным уровнем модуляционного шума.

Если уровень шума ниже —30 *дб*, то шум полностью перекрывается н. ч. сигналом и становится неслышим.

36-6. *Копир-эффект*

При воспроизведении магнитной звукозаписи часто прослушиваются повторные сигналы, особенно заметные в паузах записи. Такие эхо-сигналы появляются раньше сигнала и повторяются иногда по нескольку раз после него. Этот нежелательный эффект объясняется свойствами лент и носит название копир-эффекта.

Копир-эффект объясняется следующим образом. Если лента с записью смотана в рулон, то возможен случай, когда сильно намагниченный участок ее будет находиться рядом с участками, соответствующими паузе. В результате соприкосновения участки пауз тоже намагнитятся, и это

приводит при воспроизведении к многократному повторению одного и того же сигнала.

Во время измерения копир-эффекта определяется интенсивность отпечатка сигнала с частотой 1 *кгц* на соседних витках ленты в рулоне. При измерении необходимо иметь достаточную длину одного витка ленты, с этой целью применяют правый приемный подтарельник с большим диаметром (280 *мм*).

Начав измерения, сперва пропускают 6—8 витков ленты без записи, затем записывают короткий сигнал с ча-

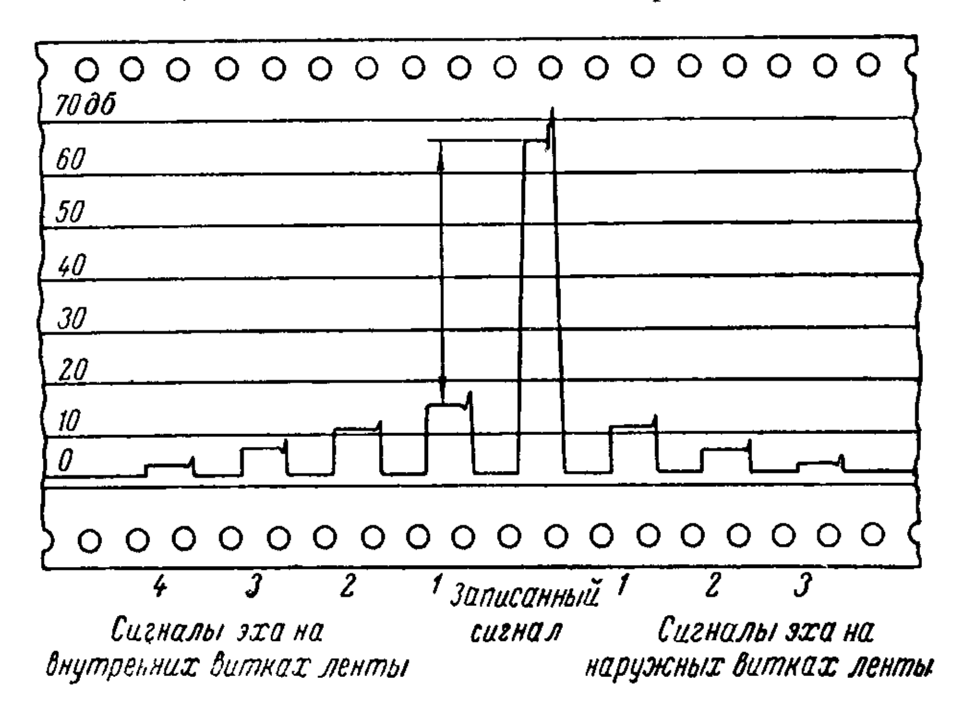


Рис 57. Регистрация копир-эффекта и выявление отпечатанных сигналов.

стотой 1 *кгц* и максимальной намагниченностью ленты и снова пропускают несколько витков ленты без записи. Спустя 24 *ч* ленту перематывают и во время воспроизведения подают выходное напряжение на самописец. На ленте самописца регистрируется уровень отпечатанных сигналов (рис. 57), соответствующих как отстающему, так и опережающему эхо. Отношение выходного напряжения от записанного сигнала к выходному напряжению от ближайшего отпечатка, взятое в децибелах, и дает относительную величину копир-эффекта. Отпечатанные сигналы растут очень незначительно после первых 24 *ч*.

36-7. *Стирание записи*

Ленту можно использовать для записи многократно при условии достаточно хорошего стирания предыдущей

записи. Стирание лент со средним значением коэрцитивной силы не сложно.

Величина рабочего тока стирания определяется так: колебания с частотой 1—3 *кгц* записываются с некоторыми интервалами при максимальном намагничивании ленты. Затем лента перематывается, и во время воспроизведения ток в стирающей головке увеличивается до полного стирания записи — она не должна прослушиваться даже при большой громкости воспроизведения. Обычно для большей надежности ток стирания еще увеличивается процентов на 30.

36-8. Заключение

Измерение электроакустических свойств лент дает много ценных данных. Основные из них можно получить при помощи несложного оборудования: звукового генератора, лампового вольтметра, осциллографа и измерителя нели-

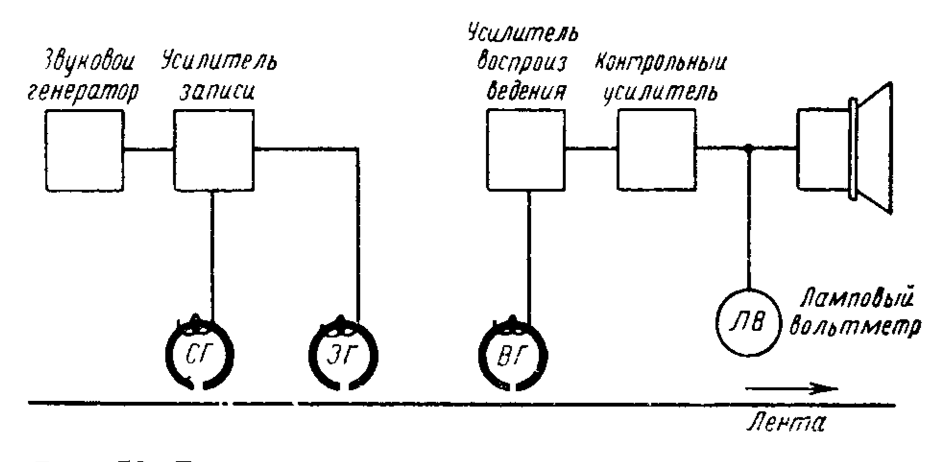


Рис. 58. Блок-схема измерения электроакустических свойств ленты.

нейных искажений; примерная схема включения приборов приведена на рис. 58.

Большинство слоистых лент имеет лучшую частотную характеристику и более пригодны поэтому для записи на малых скоростях. Сплошные ленты отличаются большей однородностью магнитных свойств и поэтому дают меньше шумов. При малых скоростях следует применять меньший ток в. ч. подмагничивания, чтобы уменьшить ослабление высоких частот, а также ленты с малым значением длины волны λ_1.

Интересно проследить за влиянием тока в. ч. подмагничивания на стираемость записи; запись, сделанная при большом токе подмагничивания, стирается гораздо труднее.

После продолжительной эксплуатации необходимо проверять величину тока в. ч. подмагничивания и н. ч. тока записи, которые могут измениться со временем за счет износа головок.

Кроме перечисленных ранее недостатков лент, можно еще назвать такие, как трески, разряды и т. п., которые трудно поддаются качественной оценке. Они, наконец, и не столь важны, так как от них можно полностью избавиться при правильно налаженном производстве

36-9. Типы лент и их использование

Существует очень много разных типов лент, из которых наиболее часто применяются следующие.

Ленты слоистые на ацетилцеллюлозной основе:
Лента типа C (Agfa—Wolfen) (для скорости 76 *см/сек*).
Лента типа F (Bayer) для скоростей 76 и 38 *см/сек*.
Лента типа FS (Bayer) для скоростей 38, 19 и 9,5 *см/сек*
Лента типа CH (Agfa — Wolfen) для скоростей 38, 19 и 9,5 *см/сек*.

Ленты слоистые на основе из полихлорвинила.
Лента типа LGH (BASF) для скоростей 76 и 38 *см/сек*.
Лента типа LGH (BASF) для скорости 19 *см/сек* и ниже.

Сплошные ленты с основой из полихлорвинила:
Лента типа extra L (BASF) для скоростей 76 и 38 *см/сек*.
Лента Genoton EN (Anorgana) для скоростей 76 и 38 *см/сек*.
Лента Genoton Z (Anorgana) для скоростей 19 и 9,5 *см/сек*.

37. Копир-эффект и изготовление копий звукозаписи

Как уже пояснялось в § 36-6, сущность копир-эффекта заключается в том, что внешнее магнитное поле ленты с записью пронизывает соседние витки в рулоне и создает на них отпечаток сигнала. Уровень отпечатка зависит от частоты сигнала: при низких и высоких частотах он слабее, чем при средних.

Отпечаток также слабее у слоистых лент по сравнению со сплошными, так как у первых слой немагнитной основы разделяет рабочие поверхности ленты. Ленты с большей чувствительностью, естественно, более склонны к копир-эффекту. В нормальных условиях уровень отпечатанного сигнала бывает незначителен — около —50 *дб* ниже уровня основного сигнала. Отпечаток, однако, может усилиться, если рулон ленты с записью попадает в переменное магнитное поле. Объясняется это тем, что участок ленты с за-

писью сигнала действует как записывающая головка, а внешнее переменное магнитное поле играет роль в. ч. подмагничивания.

Явление копир-эффекта использовано для изготовления копии магнитных записей так называемым контактным способом (рис. 59). Во время копирования лента (оригинал) при своем движении соприкасается с другой, полностью размагниченной лентой (копией) В месте соприкосновения обеих лент расположены катушки, создающие поле подмагничивания. Величина тока подбирается оптимальной для уменьшения искажений на копии Копии по уровню записи достаточно близки к оригиналу; неравномерность частотных характеристик копирования можно исправить соответствующей корректировкой при записи оригинала.

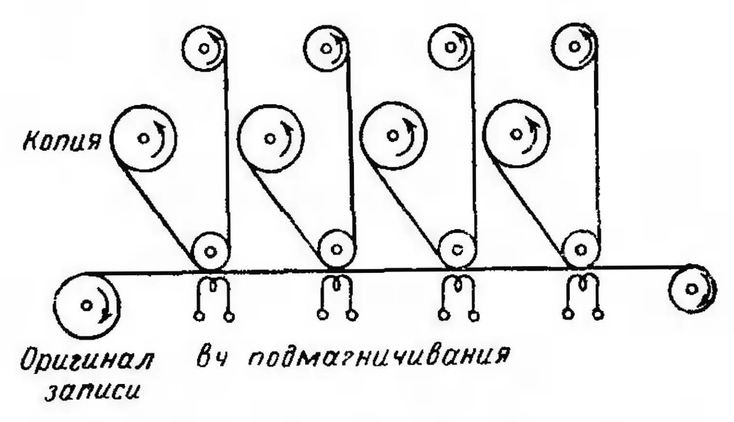


Рис. 59. Схема копирования записи контактным способом.

При копировании таким способом лента с оригиналом записи также попадает в поле в. ч подмагничивания и запись частично «стирается». Это стирание пропорционально величине напряженности поля подмагничивания и практически проявляется лишь при первом воздействии в. ч. поля на ленту, достигая примерно 9 *дб*. При повторном копировании стирание записи оригинала очень незначительно при условии, что поле подмагничивания остается неизменным .

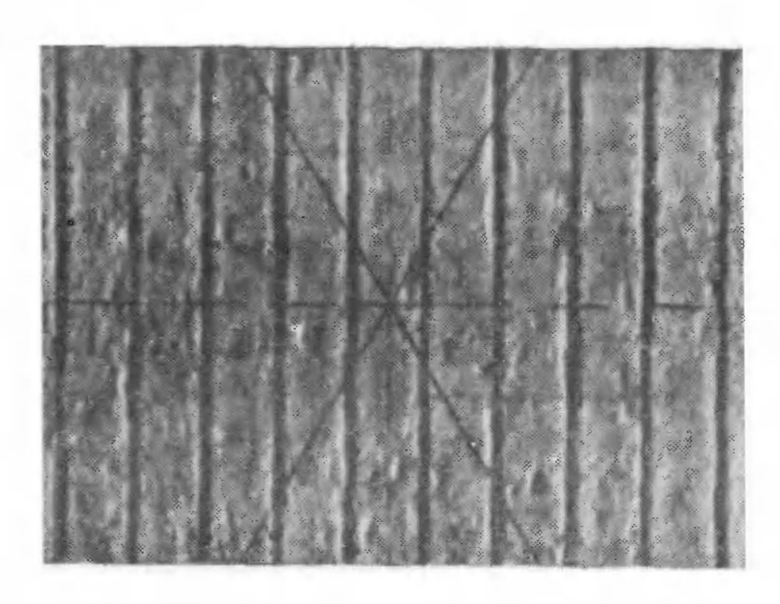
Ленты для записи оригинала должны иметь большую коэрцитивную силу; ленты копий должны иметь рабочую точку, соответствующую малому току подмагничивания.

Механическая часть устройства для копирования контактным способом очень проста и требует лишь, чтобы в зоне действия подмагничивающего поля не было взаимного скольжения лент Скорость процесса копирования зависит от частоты подмагничивания; равномерность движения ленты тут несущественна. С одного оригинала звукозаписи можно одновременно снимать по нескольку копий записи.

38. «Проявление» магнитной записи

Требование получить видимые следы записи появилось со стороны студий радиовещания, граммзаписи и кино, в работе которых часто приходится точно определять место нахождения определенного момента записи на звуконосителе.

Звуковую дорожку на ленте можно «проявить» при помощи мелкого железного порошка, взвешенного в глицериновом или парафиновом масле. Порошок, приготовленный из карбонильного железа, имеет субмикроскопическую зернистость, большую начальную проницаемость и малую величину коэрцитивной (задерживающей) силы. Приготовленная эмульсия наносится кисточкой на рабочий слой ленты и «проявляет» дорожку записи: эмульсию можно потом легко снять, не опасаясь повреждения записи. На рис. 60 показана «проявленная» запись синусоидального колебания.


Рис. 60. „Проявление" магнитной записи.

Проявление звуковой дорожки позволяет также определять перпендикулярность рабочего зазора записывающей головки к направлению движения ленты. Однако точность при этом незначительна, так как увеличенное изображение «проявленной» ленты оказывается расплывчатым. Лучшие

результаты дает использование самих магнитных частиц рабочего слоя ленты. Силы, действующие на эти частицы, больше, чем силы, действующие на порошок, применяемый при «проявлении» записи. Сущность метода состоит в том,

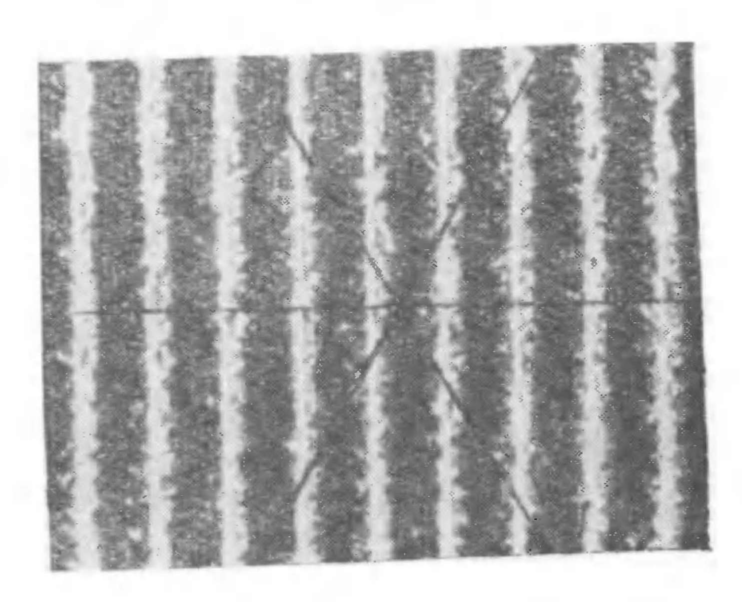


Рис. 61. Запись, проявленная методом пластической деформации.

что слой ленты с записью размягчают, после чего в нем становятся видны пластические деформации в виде бороздок, отстоящих друг от друга на половину длины волны записи (рис. 61). Пластические деформации возникают вследствие внутренних сил взаимодействия одноименных полюсов соседних полуволновых областей в рабочем слое. Таким способом удается «увидеть» запись с длиной волны до 25 *мк*.

ГЛАВА ШЕСТАЯ

ЭЛЕКТРОНИКА МАГНИТОФОНА

39. Введение

Магнитофоном называют аппарат для магнитной звукозаписи на ленту и звуковоспроизведения с нее.

Электроника магнитофона состоит из усилителя записи, высокочастотного генератора и усилителя воспроизведения.

Усилитель записи повышает мощность электрических колебаний, получаемых от микрофона или звукоснимателя, и питает записывающую головку н. ч. током нужной

величины. В нем же осуществляется необходимая при записи частотная коррекция.

Высокочастотный генератор является источником тока для стирающей головки и тока подмагничивания для записывающей головки.

Усилитель воспроизведения повышает мощность сигнала, индуктированного в воспроизводящей головке и, кроме того, также корректирует частотную характеристику магнитофона.

Электроника магнитофона содержит, кроме того, ряд вспомогательных узлов; о всех узлах и требованиях, предъявляемых к ним, будет рассказано в последующих разделах.

40. Коррекция частотной характеристики

Электродвижущая сила воспроизводящей головки изменяется с частотой. При постоянстве тока в записывающей головке э. д. с. возрастает на 6 *дб* на каждую октаву, затем достигает максимума и спадает. На рис. 62 показаны частотные характеристики при разных скоростях движения ленты.

Очевидно, что характеристику подобного вида необходимо корректировать подбором частотных характеристик

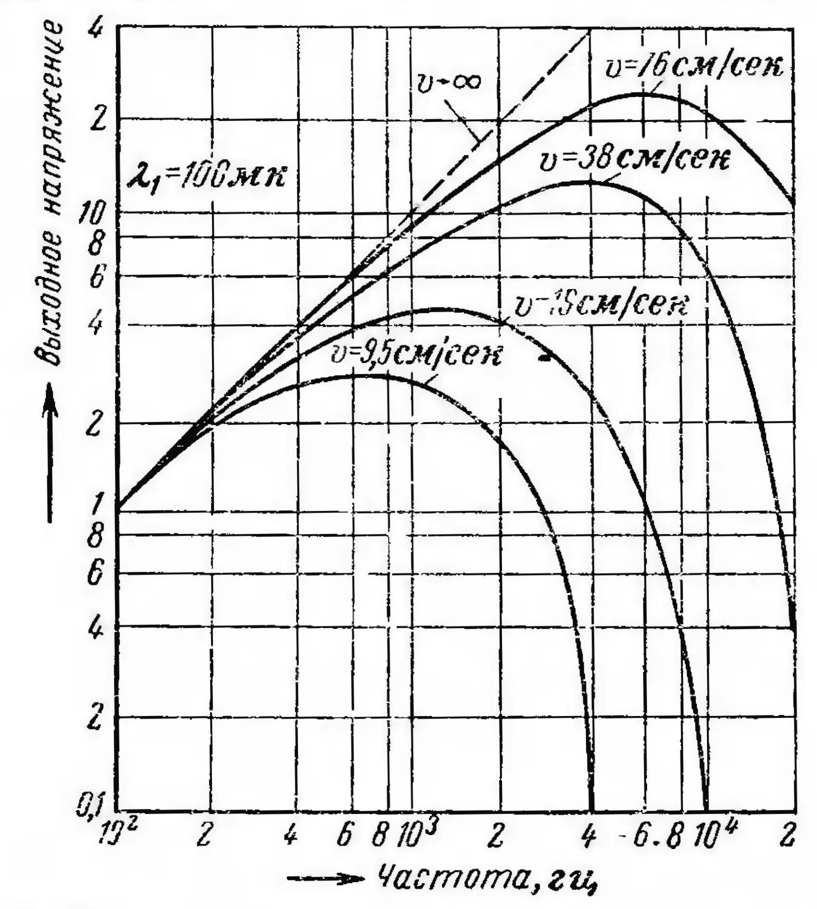


Рис. 62. Частотные характеристики при разных скоростях.

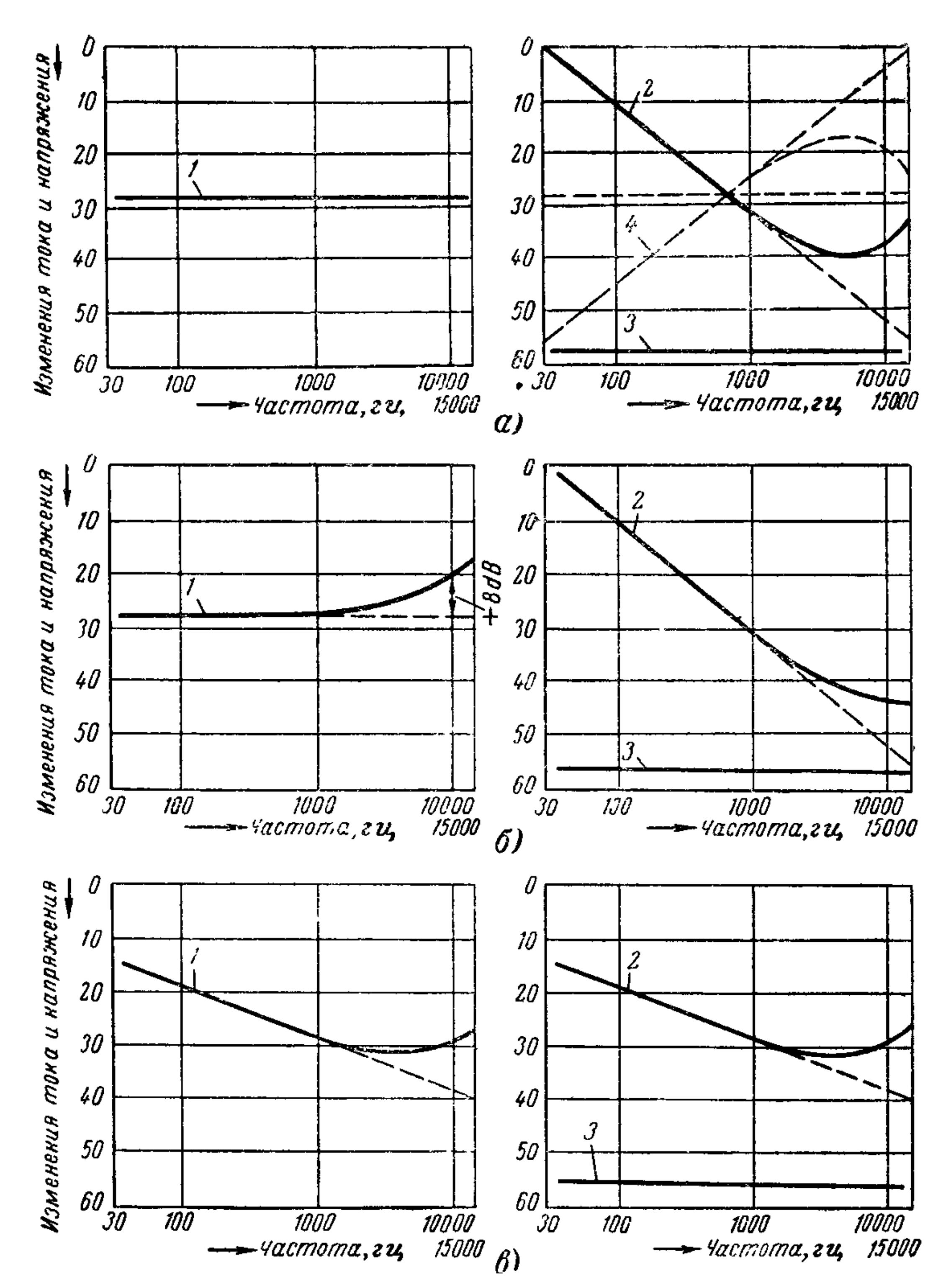


Рис. 63. Частотные характеристики усилителей записи и воспроизведения при скорости 76,2 *см/сек*.

усилителей записи и воспроизведения так, чтобы в результате выходное напряжение магнитофона было постоянным на любой рабочей частоте. Если частотную характеристику корректировать только при воспроизведении, то ток в записывающей головке должен быть неизменным и не зависящим от частоты согласно кривой *1* на рис. 63,*а*. Тогда частотная характеристика усилителя воспроизведения должна проходить по кривой *2* на том же рисунке, соответствующей зеркальному изображению характеристики э. д. с. воспроизводящей головки (кривая *4*). При таких условиях результирующая частотная характеристика магнитофона равномерна во всем рабочем диапазоне (кривая *3*, рис. 63,*а*).

Вопрос распределения коррекции частотной характеристики между записью и воспроизведением определяется рядом особенностей звукозаписи. Для получения максимального динамического диапазона необходимо намагнитить ленту до максимально допустимой величины во всем частотном диапазоне. Звуковая энергия в спектре музыки и речи имеет максимум на средних и спад на более высоких частотах. Это позволяет при записи поднимать уровень высоких частот без опасения перемагничивания ленты. У студийной аппаратуры при скорости движения ленты 76,2 *см/сек*, ток в записывающей головке остается неизменным до 1 *кгц*, затем повышается и при 10 *кгц* в 2,5 раза (т. е. на +8 *дб*) превышает прежнее значение (рис. 63,*б*, кривая *1*). Коррекция при записи позволяет уменьшить усиление высоких частот при воспроизведении по сравнению с предыдущим случаем и частотная характеристика усилителя воспроизведения соответствует кривой *2* (рис. 63,*б*); результирующая характеристика всего тракта по-прежнему имеет вид горизонтальной прямой (прямая *3*, рис. 63,*б*).

В очень простой аппаратуре с одним усилителем для записи и воспроизведения иногда применяют одну и ту же коррекцию для тока записи и э. д. с. головки воспроизведения (кривые *1* и *2* на рис. 63,*в*). Коррекция подбирается так, чтобы результирующая частотная характеристика была равномерна (прямая *3*, рис. 63).

41. Усилитель записи

Согласно кривой *1* на рис. 63,*б* ток в записывающей головке должен оставаться почти неизменным во всем частотном диапазоне, немного возрастая при частотах более 1 *кгц*. Однако индуктивное сопротивление головки $X_L = \omega L$ увеличивается пропорционально частоте, и, следовательно, ток в головке будет обратно пропорционален частоте, если головка подключена к источнику э. д. с. с малым внутренним сопротивлением. Чтобы сохранить постоянство тока, необходимо подключать головку к источнику

с большим внутренним сопротивлением. Поясним это положение. Индуктивность записывающей головки, например 7 *мгн*, дает на частоте 100 *гц* индуктивное сопротивление $X_L = \omega L = 2\pi f L = 628 \cdot 7 \cdot 10^{-3} = 4{,}4$ *ом*, на частоте 10 000 *гц* $X_L = 2\pi f L = 62\,800 \cdot 7 \cdot 10^{-3} = 440$ *ом*.

Пусть в приведенном диапазоне частот изменение тока в записывающей головке не должно превышать 10%, т. е. 1 *дб*, следовательно, внутреннее сопротивление R_i источника должно быть таким, чтобы при постоянном значении э. д. с. источника изменения тока I не превышали заданную величину, т. е. 10%.

При частоте $f = 0$ ток будет равен:

$$I_1 = \frac{E}{R_i};$$

при частоте $f = 10$ *кгц*

$$I_2 = \frac{E}{\sqrt{R_i^2 + (\omega L)^2}},$$

а допустимая неравномерность тока в этом диапазоне не должна превышать 10%, следовательно:

$$\frac{I_1 - I_2}{I_1} \cdot 100 = 10\%.$$

Решая совместно приведенные уравнения, получаем значение внутреннего сопротивления

$$R_i \geqslant 2{,}07\omega L \geqslant 13 \cdot 10^4 L \ [ом \ \ рад/сек, \ гн, \ гн];$$

для $f = 10\,000$ *гц* и записывающей головки с индуктивностью 7 *мгн* внутреннее сопротивление источника должно быть $R_i \geqslant 13 \cdot 10^4 \cdot 7 \cdot 10^{-3} \geqslant 910$ *ом*. Головку можно, следовательно, включать в анодную цепь триода с внутренним сопротивлением порядка 5—10 *ком*, позаботившись о том, чтобы через головку не проходила постоянная составляющая анодного тока.

Если применить головку с индуктивностью 0,5 *гн*, то сопротивление источника должно быть $R_i \geqslant 13 \cdot 10^4 \cdot 0{,}5 = 65\,000$ *ом*. Для такой головки лучше использовать пентод. Разницу между R_i лампы (например, 50 *ком*) и требуемым сопротивлением источника R_i (в нашем случае 65 *ком*) следует дополнить активным сопротивлением.

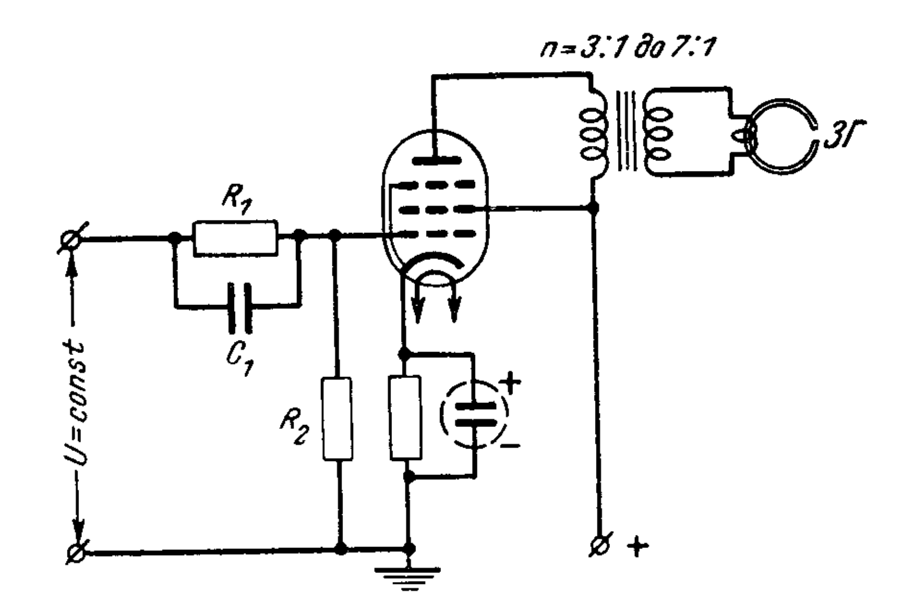


Рис. 64. Принципиальная схема усилителя записи.

Коррекция высоких частот в усилителе записи возможна разными способами. При трансформаторном выходе для этой цели применяются *RC* цепочки (рис. 64). В этой схеме цепочка $R_1C_1R_2$ включена в цепь сетки выходной лампы. Иногда такая цепочка включается в цепь сетки предварительного каскада усиления.

Рис. 65. Частотная коррекция в цепи записывающей головки.

Когда цепь записывающей головки приходится дополнять сопротивлением (рис. 65), то оно одновременно используется для частотной коррекции и с этой целью шунтируется емкостью. При повышении частоты полное сопротивление цепочки *RC* уменьшается и ток в общей цепи увеличивается.

В усилителях магнитофонов применяется также частотная коррекция в цепи обратной связи.

42. Усилитель воспроизведения

Существуют два способа включения воспроизводящей головки. При первом способе головка работает под нагруз-

кой или в режиме „короткого замыкания“, при втором — без нагрузки, т. е. в режиме „холостого хода“.

Работа в режиме короткого замыкания. При таком включении головка нагружается активным сопротивлением R небольшой величины и напряжение с него подается на вход первой лампы усилителя (рис. 66). Падение напряжения в обмотке головки определяется ее индуктивным сопротивлением $X_L = \omega L = 2\pi f L$.

С возрастанием частоты это сопротивление увеличивается и, если оно достаточно велико по сравнению с ак-

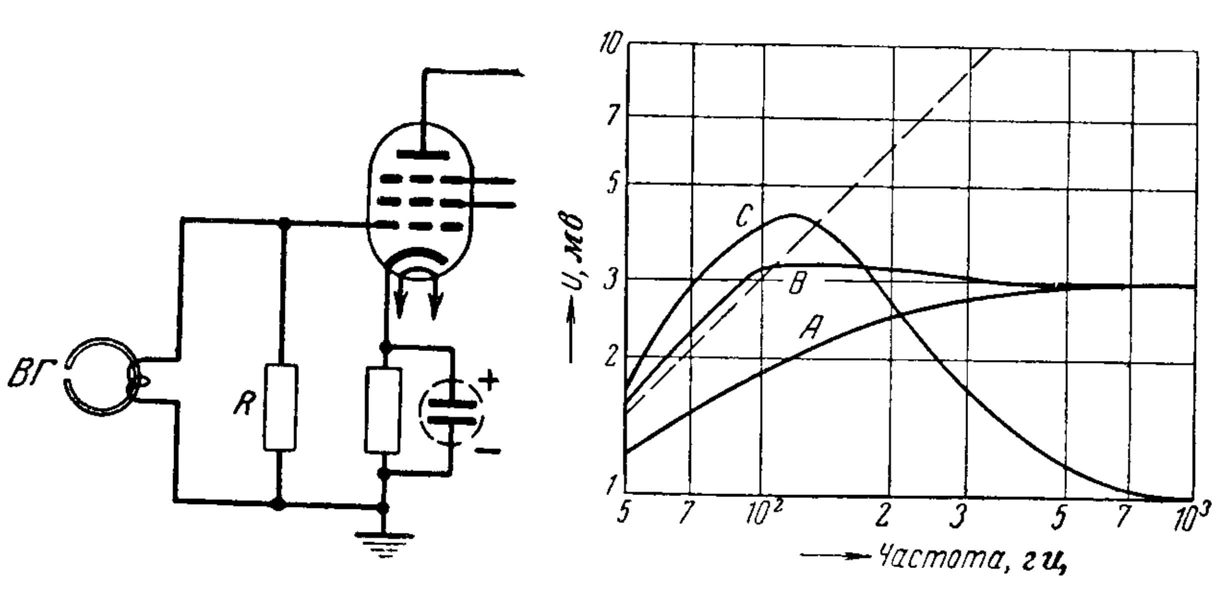


Рис. 66. Схема включения воспроизводящей головки с нагрузкой

Рис. 67. Частотная характеристика головки в режиме „короткого замыкания“.

тивным сопротивлением R, напряжение на последнем можно считать постоянным и не зависящим от частоты, если не учитывать различного рода потерь э. д. с. головки на высоких частотах. Сопротивление R подбирается так, чтобы его величина равнялась индуктивному сопротивлению головки на низкой частоте. При этом условии напряжение на входе лампы меньше э. д. с. головки на 3 *дб* (кривая A, рис. 67). Увеличение напряжения на более низких частотах может быть достигнуто включением последовательно с сопротивлением R емкости C (рис. 68). Емкостное сопротивление конденсатора увеличивается при уменьшении частоты и способствует возрастанию напряжения на входе лампы (рис. 67, кривая B). Подбором значения емкости C можно сдвинуть частоту собственного резонанса входной цепи в область самых низких частот рабочего диапазона. Если сопротивление сделать переменным, то можно, умень-

шая его величину, получить подчеркивание низких частот (кривая C).

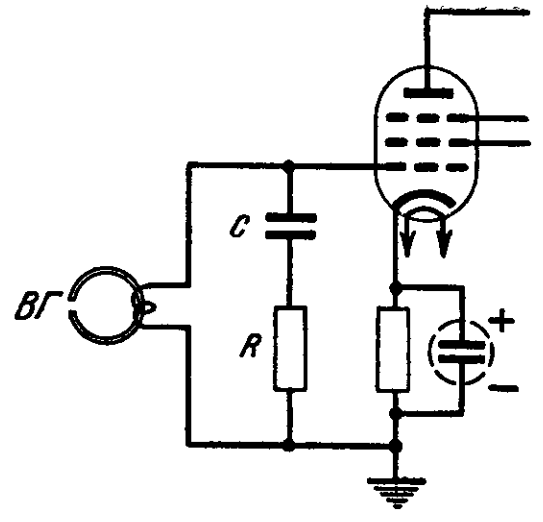


Рис. 68. Схема включения воспроизводящей головки для подъема низких частот.

Для коррекции высоких частот в цепочку коррекции RC включается последовательно индуктивность L. За счет повышения индуктивного сопротивления при увеличении частоты возрастает и напряжение на сетке лампы. Если индуктивность L шунтировать переменным сопротивлением R, то появится возможность в широких пределах изменять частотную характеристику в области высоких частот. Полная схема коррекции для высокоомной головки приведена на рис. 69. В этой схеме затухание резонансного контура LC_2, настроенного на частоту около 10 *кгц*, можно изменять переменным сопротивле-

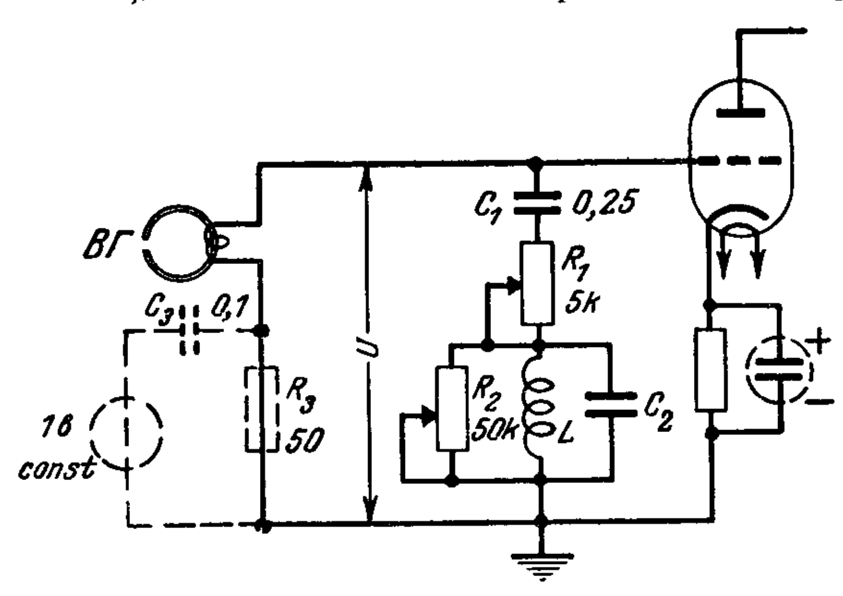


Рис. 69. Полная схема корректирующей цепи воспроизводящей головки и влияние ее элементов на частотную характеристику.

нием R_2. Уменьшение сопротивления R_1 поднимает уровень низких частот в районе 100 *гц*.

На рис. 69 пунктиром показана вспомогательная цепочка из емкости $C_3 = 0{,}1$ *мкф* и сопротивления $R_3 = 50\Omega$, включенная последовательно с высокоомной воспроизводящей головкой. Она применяется для измерений частотной характеристики усилителя воспроизведения. Для этого

к ней от звукового генератора с постоянным выходным напряжением подводится напряжение 1 *в*, которое в цепи головки создает напряжение около 30 *мв* при частоте в 1 *кгц*, соответствующее э. д. с. головки при воспроизведении записи той же частоты с нормальной намагниченностью ленты. Вспомогательная цепочка с генератором имитируют ленту с идеальной частотной характеристикой записи и воспроизведения.

На рис. 70 приведена распространенная схема усилителя воспроизведения. В ней применена отрицательная об-

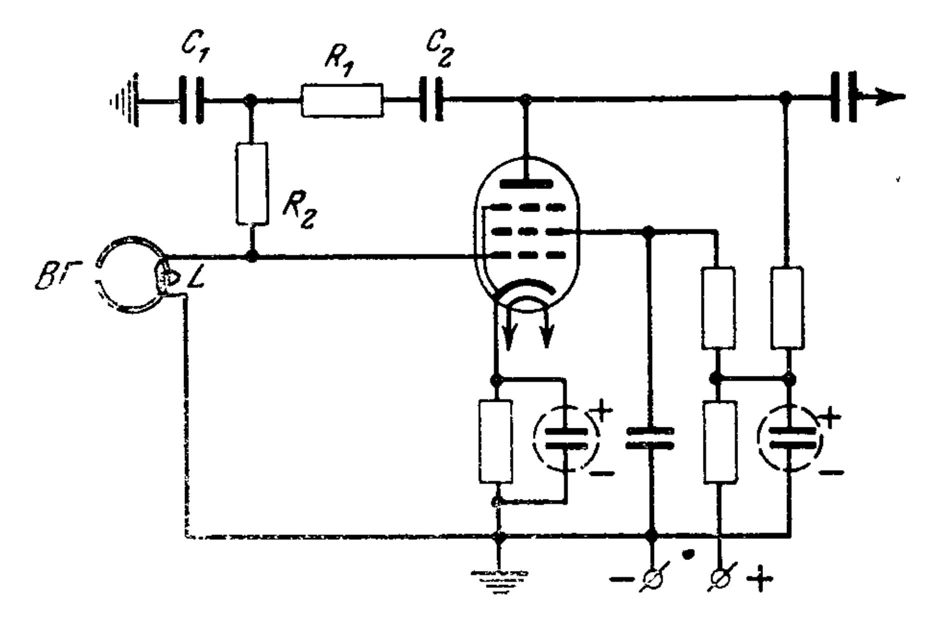


Рис. 70. Схема коррекции с использованием индуктивности головки в цепи обратной связи.

ратная связь по напряжению с анода на сетку первой лампы усилителя, причем сопротивлением связи является индуктивное сопротивление. При достаточной величине емкости C_2 коррекция частотной характеристики получается за счет частотно зависимого отношения R_1+R_2 к L. На высоких частотах, где сказывается влияние потерь при записи и воспроизведении, необходимо ограничивать величину обратной связи с помощью емкости C_1. Изменяя величину C_1, можно установить требуемый ход частотной характеристики.

Работа головки в режиме холостого хода. В режиме холостого хода э. д. с. воспроизводящей головки подается непосредственно на сетку первой лампы усилителя воспроизведения. Так как величина э. д. с. зависит от частоты, необходимо вводить коррекцию в последующих цепях усилителя, обычно за первой лампой, так как это позволяет менее тщательно экранировать отдельные элементы це-

почки коррекции, в частности катушку индуктивности. Схемы коррекции различны: комбинации *RC* элементов, резонансные контуры с добавочным сопротивлением, разные варианты частотно-зависимых обратных связей и т. п.

На рис. 71 приведена схема усилителя воспроизведения с частотной коррекцией низких и высоких частот. Подъем низких частот можно получить, шунтируя анодное сопротивление R_a корректирующей цепочкой R_1, C_1. Для пентода значение величин R_1 и C_1 подбирается так, чтобы R_1 равнялось примерно $^1/_{10}$ сопротивления нагруз-

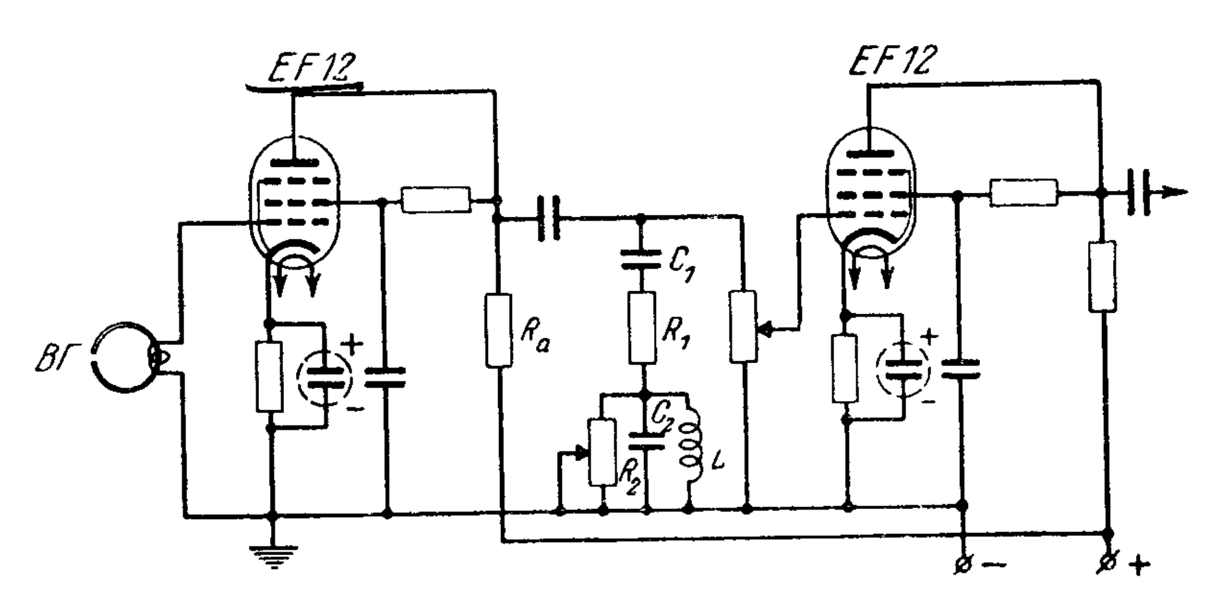


Рис. 71. Схема усилителя воспроизведения.

ки R_a. Емкостное сопротивление конденсатора C_1 должно быть при частоте 100 *гц* примерно в 10 раз больше сопротивления R_1. В случае применения триодов вместо R_a при расчете принимается во внимание значение внутреннего сопротивления лампы. Подъем высоких частот обеспечивает резонансный контур LC_2, настроенный на высшую рабочую частоту, и шунтированный сопротивлением R_2. Переменное сопротивление R_2 позволяет подбирать величину коррекции.

На рис. 72 показана схема одного каскада усилителя воспроизведения (обычно второго) с коррекцией в цепи отрицательной обратной связи. Подъем низких частот в этой схеме достигается за счет возрастания реактивного сопротивления конденсатора C_1 по мере понижения частоты. Влиянием конденсатора C_2 на этих частотах можно пренебречь, но оно начинает сказываться при высоких частотах, когда C_2 уменьшает обратную связь. Если емкость C_2 сделать переменной, это даст возможность плав-

но изменять частотную характеристику в области высоких частот.

Конструкция усилителя воспроизведения должна учитывать его большое усиление и возможность появления микрофонного эффекта. Подходящими для первого каскада лампами из металлической серии являются EF12, EF14 или EF40, ECC40, EF42 из миниатюрных ламп. Ламповая панелька первого каскада должна быть амортизирована резиновыми прокладками или пружинами. Накал лампы необходимо хорошо отсимметрировать с помощью сопротивления со средней точкой по отношению к шасси для устранения фона переменного тока. В студийной аппаратуре накал часто питают постоянным током, применяя селеновые выпрямители в мостовой схеме. Для накала иногда используется анодный ток или ток экранной сетки выходной лампы усилителя. Источником фона могут быть также наводки в замкнутых цепях, получившихся в результате неудачного заземления отдельных элементов схемы

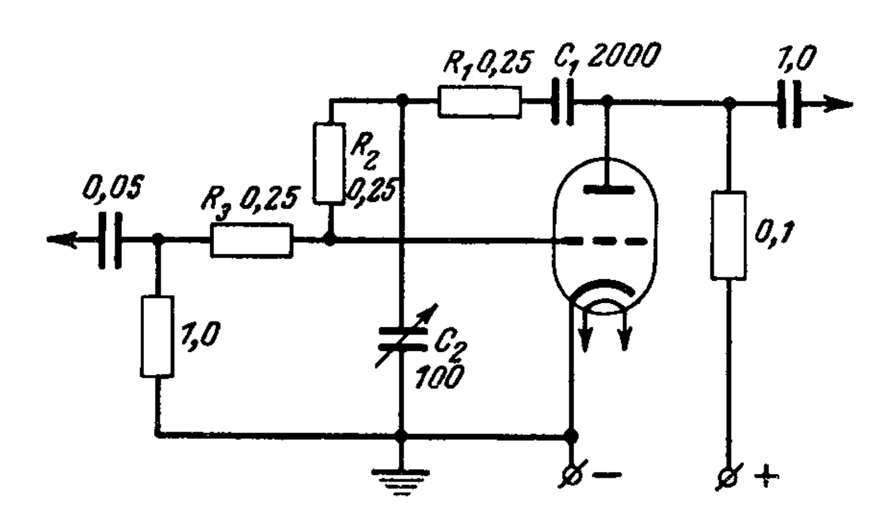


Рис 72. Схема усилителя воспроизведения с отрицательной обратной связью.

43. Высокочастотный генератор

Колебания мощностью 2—4 *вт*, необходимые для в. ч. подмагничивания и стирания ленты, создаются ламповым генератором. Обычно для этой цели используются выходные пентоды типа 6П6, 6П1П и т. п. Для ферритовых стирающих головок, у которых потери за счет вихревых токов очень незначительны, достаточна мощность порядка 0,1—0,2 *вт*; такую мощность в генераторе обеспечивает и обычный в. ч. пентод.

Основным требованием к генератору является отсутствие четных гармоник, создающих увеличение шумов при записи. Потери в стирающих головках сильно зависят от частоты, поэтому ее нельзя выбирать слишком высокой. С другой стороны, частота подмагничивания должна быть хотя бы в 5 раз выше верхней записываемой частоты. Первоначально для стирания и подмагничивания применялись отдельные генераторы. Кроме лишних затрат, такое решение приводило к возникновению слышимых биений при расстройке одного из генераторов. При применении общего генератора для подмагничивания и стирания частоту его приходится выбирать компромиссно, исходя из вышеприведенных соображений.

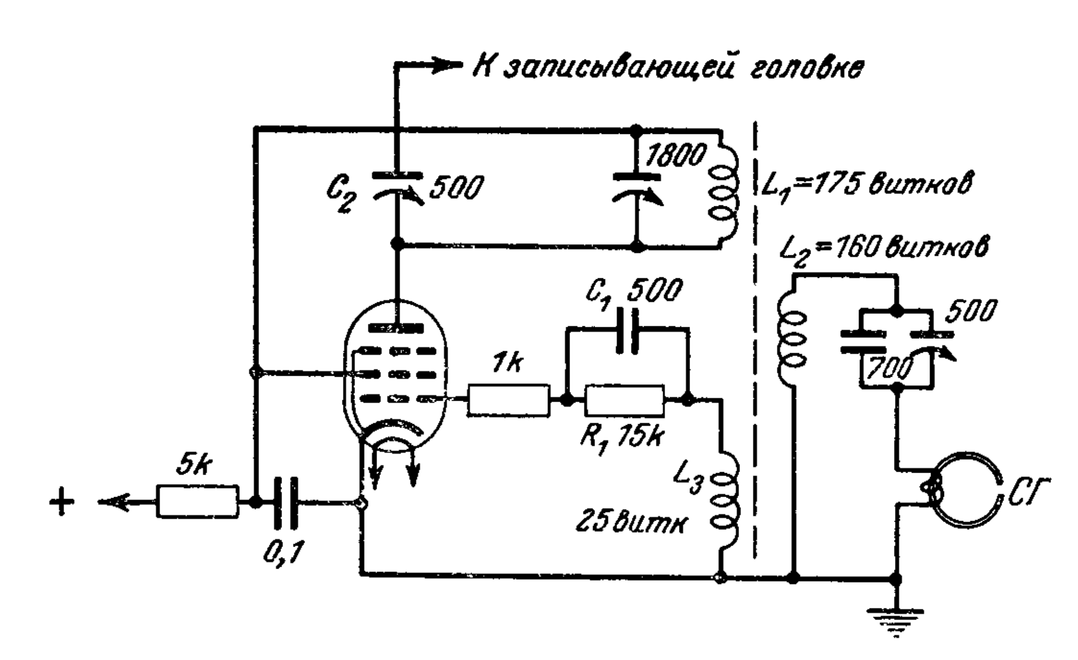


Рис. 73. Схема высокочастотного генератора с индуктивной обратной связью.

На рис. 73 показана схема генератора с индуктивной обратной связью и настроенным контуром в анодной цепи. Направление витков катушки L_3 подбирается так, чтобы обратная связь была положительной. В цепи сетки создается автоматическое смещение за счет цепочки R_1C_1. В момент включения анодного напряжения на сетке лампы нет еще смещения, так как нет и сеточного тока. Как только возникнут в.ч. колебания, появляется ток сетки и смещение автоматически устанавливается. В такой схеме в случае срыва в.ч. колебаний возникает опасность перегрева анода лампы из-за отсутствия смещения. Записывающая головка подключается к анодному контуру через разделительный конденсатор C_2.

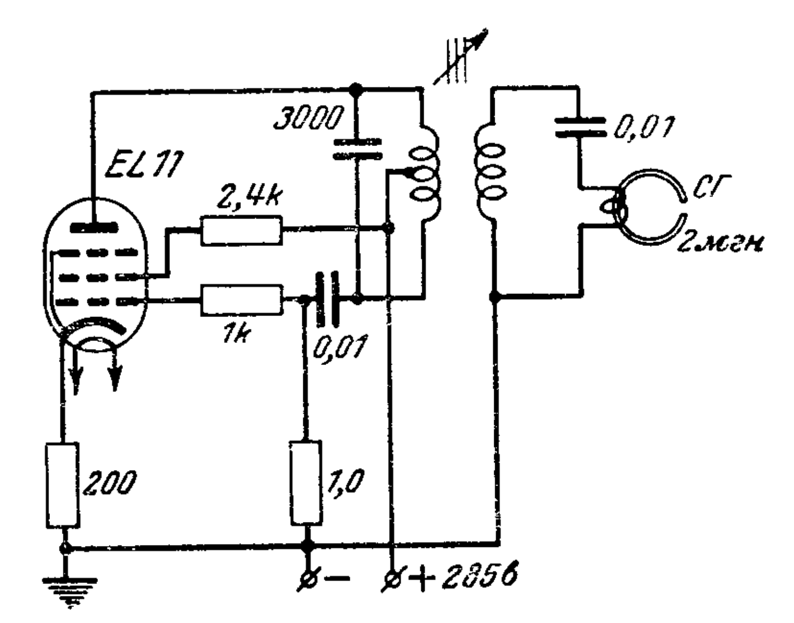


Рис. 74. Высокочастотный генератор по „трехточечной“ схеме.

Часто генераторы строятся по «трехточечной» схеме (рис. 74). Иногда индуктивность стирающей головки составляет часть индуктивности колебательного контура.

44. Контроль уровня записи

При звукозаписи необходим контроль величины тока в записывающей головке, так как при превышении его величины сверх максимально допустимой сильно увеличи-

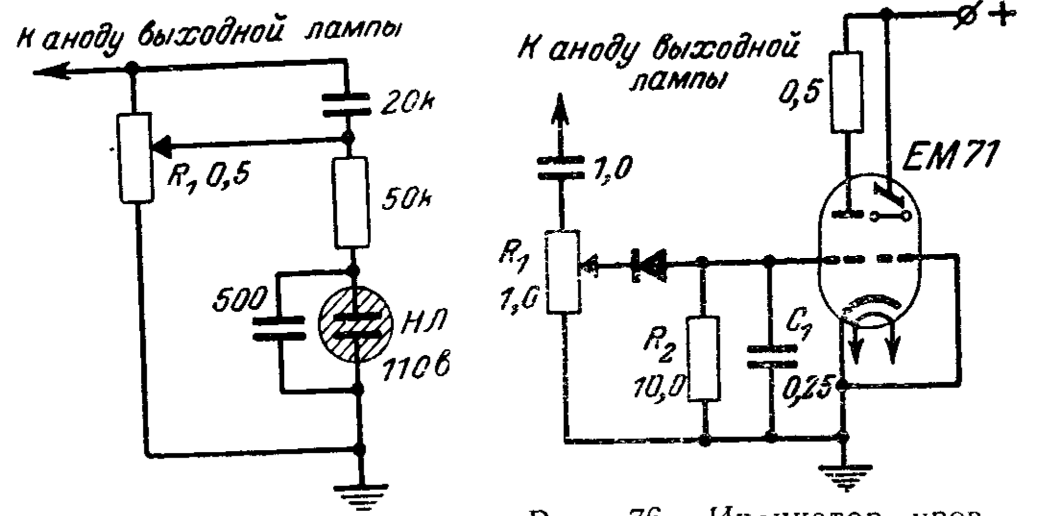


Рис. 75. Индикатор уровня с неоновой лампой.

Рис. 76. Индикатор уровня с индикатором настройки.

ваются нелинейные искажения. Контроль осуществляется при помощи разных типов индикаторов уровня, показывающих мгновенное или среднее значения тока.

Самым простым индикатором является неоновая лам-

почка (рис. 75). Она обычно подключается к аноду выходной лампы. Потенциометром R_1 подбирается такое начальное напряжение, чтобы лампочка вспыхивала только при максимуме н. ч. сигнала.

Более совершенным индикатором уровня может быть индикатор настройки (рис. 76). Напряжение, подаваемое на управляющий электрод с потенциометра R_1, выпрямляется полупроводниковым диодом. Цепочка R_2C_1 определяет постоянную времени индикатора. Потенциометр R_1

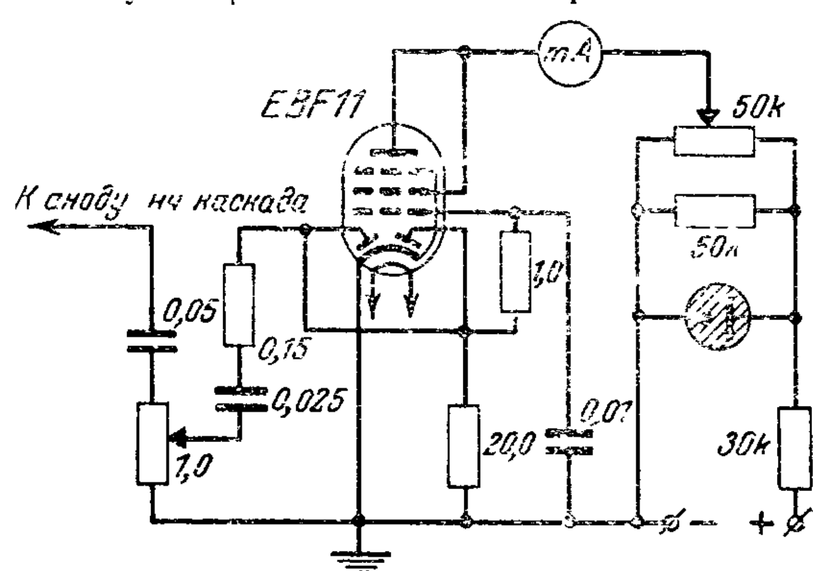


Рис. 77. Схема электронного индикатора уровня.

регулируется так, чтобы «глазок» закрывался полностью при максимуме н. ч. сигнала.

В студийной аппаратуре применяются ламповые индикаторы уровня со стрелочным прибором на выходе (рис. 77). Для этой цели используются комбинированные лампы типа двойной диод — пентод. Низкочастотный сигнал выпрямляется в диодной части и затем усиливается пентодом. Анодное напряжение стабилизировано. В анодной цепи включен миллиамперметр, показывающий величину н. ч. сигнала. Приборы такого типа должны иметь логарифмическую шкалу, так как ими контролируют уровень записи во всем динамическом диапазоне. Напомним, что диапазон от 0 до 60 *дб* соответствует отношению напряжений 1 : 1 000.

Индикаторы уровня записи должны включаться так, чтобы они реагировали на величину тока записи, а не напряжения на записывающей головке, так как последнее определяется импедансом головки и сильно зависит от частоты.

ГЛАВА СЕДЬМАЯ

ЛЕНТОПРОТЯЖНЫЙ МЕХАНИЗМ

Лентопротяжный механизм должен обеспечить равномерное протягивание ленты около зазоров рабочих головок, а также прямую и обратную перемотку ленты. На рис 78 показаны основные части лентопротяжного механизма в наиболее типичной компоновке Другие варианты этой конструкции обусловлены разными эксплуатационными требованиями, предъявляемыми к аппаратуре.

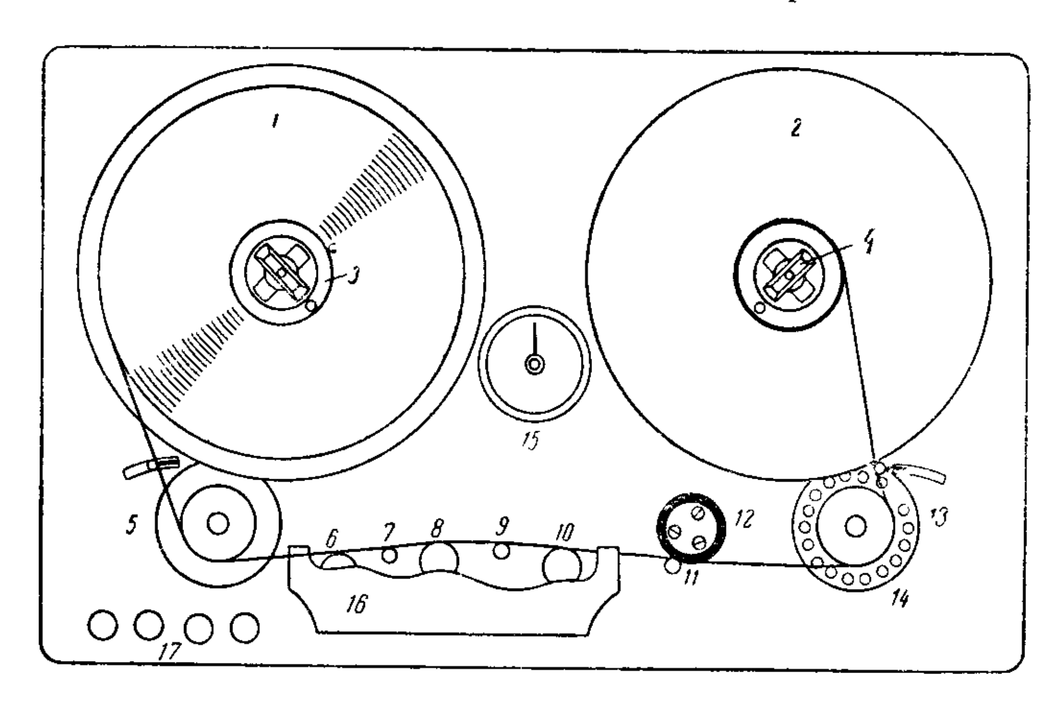


Рис. 78. Принципиальная схема лентопротяжного механизма.

1 — подающая кассета, *2* — приемная кассета, *3* — бобышка для намотки ленты, *4* — замок крепления бобышек, *5* — обводной ролик, *6, 8, 10* — магнитные головки, *7, 9* — направляющие ленты; *11* — ведущий ролик; *12* — прижимный ролик, *13* — натяжной ролик, *14* — стробоскоп, *15* — счетчик ленты, *16* — кнопки управления

45. Протягивание ленты

Протягивание ленты около головок с постоянной скоростью можно практически осуществить двумя способами.

Самый совершенный и распространенный способ осуществляется при помощи ведущего ролика и обрезиненного прижимного ролика (рис. 79). Вращение ведущего ролика передается прижимному ролику, который протягивает ленту. Скорость движения ленты v [*см/сек*] определяется диаметром ведущего ролика d [*мм*] и числом его оборотов n [*об/мин*]:

$$v = \frac{\pi d n}{600} \ [см/сек],$$

откуда диаметр ведущего ролика

$$d = \frac{v \cdot 600}{\pi n} = \frac{191,09 \cdot v}{n} \ [мм].$$

Например, если число оборотов равно 750 в минуту, то при скорости движения ленты 38,1 *см/сек* диаметр ролика должен быть

$$d = \frac{191,09 \cdot 38,1}{750} = 9,707 \ мм.$$

Диаметры роликов для остальных стандартных скоростей движения ленты приведены в табл. 5

Таблица 5

Диаметр ведущей оси для стандартных скоростей ленты

Число оборотов в минуту	Скорость ленты, *см/сек*	Диаметр ведущей оси, *мм*	Скорость ленты, *см/сек*	Диаметр ведущей оси, *мм*
3 000	76,2	4,85	—	—
1 500	76,2	9,707	38,1	4,85
1 000	76,2	14,56	38,1	7,28
750	19,05	4,85	38,1	9,707
500	19,05	7,28	38,1	14,56
375	19,05	9,69	9,5	4,85

Лента должна подходить к ведущему ролику до места ее соприкосновения с прижимным роликом (рис. 80). В противном случае из-за неизбежной эксцентричности резинового обода прижимного ролика появятся колебания скорости ленты.

Для повышения равномерности вращения ведущего ролика на его оси обычно устанавливают маховик.

На рис. 81 показан второй способ протягивания ленты, применяемый в более простой аппартуре или при ведущих двигателях с малым числом оборогов. Протягивание ленты осуществляется за счет ее хорошего сцепления с обрезиненной поверхностью самого ведущего ролика. Сцепление пропорционально натяжению ленты, углу обхвата α и коэффициенту трения ленты о резину

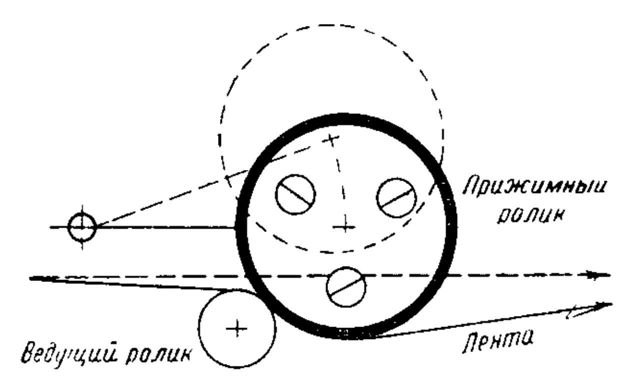


Рис 79 Ведущий и прижимной ролики

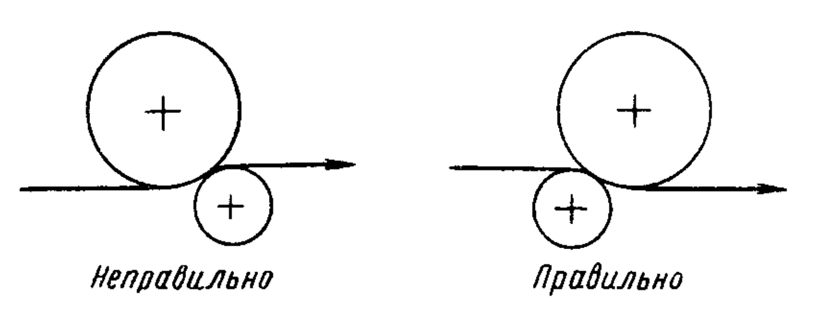


Рис. 80. Подход ленты к ведущему ролику.

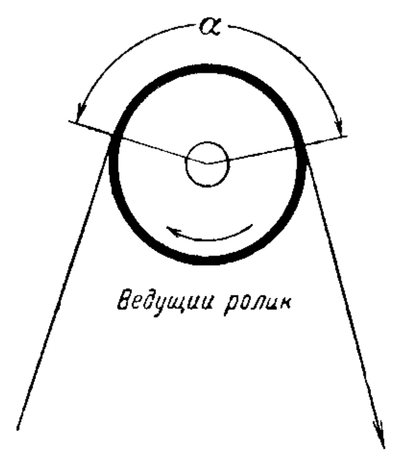


Рис. 81. Протягивание ленты одним ведущим роликом.

46. Узлы подмотки и обратной перемотки ленты

Лентопротяжный механизм, показанный на рис. 78, имеет три двигателя. Ведущий двигатель обеспечивает протягивание ленты при помощи ведущего и прижимного роликов; назначение боковых двигателей состоит в подаче ленты (левый двигатель) и подмотке ее на приемную кассету (правый двигатель).

При записи или воспроизведении лента должна иметь постоянную скорость движения, определяемую числом оборотов ведущего ролика и его диаметром. Натяжение ленты при этом устанавливается механическим или электрическим торможением со стороны подающей кассеты При электрическом торможении на левый двигатель подается пониженное напряжение. Правый двигатель подмотки на холостом ходу имеет несколько большее число оборотов, чем требуемое для подмотки ленты, в результате лента, протянутая ведущим и прижимным роликами, также имеет некоторое натяжение, необходимое для плотной намотки на правую бобышку.

При остановке ленты двигатели выключаются и вводятся в действие тормозные устройства, которые препятствуют разматыванию ленты и возникновению петель в результате инерции левой кассеты. Прижимный ролик отходит от ведущего, освобождая ленту для обратной перемотки

При обратной перемотке ленты функции боковых двигателей как бы меняются местами: на двигатель подачи ленты (левый) подается полное рабочее напряжение, на двигатель подмотки (правый), наоборот, пониженное напряжение для получения необходимого при перемотке натяжения ленты. Для уменьшения износа головок во время обратной перемотки ленту отводят от головок

Когда нужно прослушать не весь рулон ленты, а только какую-то его внутреннюю часть, пользуются прямой ускоренной перемоткой. В этом случае боковые двигатели работают, как и при обратной перемотке, с той лишь разницей, что полное напряжение подается на правый двигатель

47. Двигатели

В качестве ведущего обычно применяются синхронные двигатели, в качестве боковых — асинхронные Коллекторные двигатели не применяются, так как они дороже и сложнее и требуют фильтрации помех, создаваемых искрением

Синхронные однофазные ведущие двигатели делаются самозапускающимися. Для этого на статоре мотают две обмотки — основную и вспомогательную. В результате сдвига фаз токов в обеих обмотках возникает вращающееся поле. Сдвиг фаз получается за счет последовательного включения конденсатора в цепь вспомогательной обмотки.

В двухскоростных синхронных двигателях переключением катушек статора число полюсов уменьшалось вдвое по сравнению с первоначальным.

Рис. 82. Ведущий двигатель

Цилиндрический ротор делается из магнитной стали. Магнитное поле статора вызывает появление на периферии ротора магнитных полюсов, обеспечивающих синхронное вращение двигателя.

На рис. 82 приведена фотография ведущего двигателя завода Зандер и Янсен (ГДР) Статор двигателя восьмиполюсный, высотой 50 *мм*; диаметр ротора 74,5 *мм*. Собраны они из пластин трансформаторной стали толщиной 0,5 *мм*. Зазор между статором и ротором составляет 0,25±0,01 *мм*. Емкость конденсатора вспомогательной фазы 2 *мкф*. Подводимая мощность при нагрузке двигателя 60 — 70 *вт*, вращающий момент 1 600—2 400 *г/см*, число оборотов 750 в минуту.

Боковые двигатели делаются асинхронными. Статор в двигателе обычный, ротор выполнен в виде стального цилиндра; вращается он благодаря взаимодействию магнитного поля статора с магнитным полем, возбуждаемым вихревыми токами, индуктированными в роторе.

При записи или воспроизведении натяжение ленты левым двигателем желательно сохранять постоянным в течение всего времени хода. При скорости ленты 76 *см/сек* число оборотов подающей кассеты при полном рулоне (около 1 000 *м*) равняется 50 *об/мин*, а в конце рулона 200 *об/мин*. Так как практически невозможно осуществить изменение вращающего момента двигателя в том же со-

отношении, то равномерность натяжения ленты может достигаться лишь автоматическим изменением напряжения, подводимого к двигателю подмотки по мере разматывания рулона ленты. Вращающий момент боковых двигателей обычно равен 2 000—3 500 *г/см*.

48. Тормоза

Торможение двигателей лентопротяжного механизма необходимо для остановки движения ленты и для предотвращения образования петель. Торможение должно быть достаточно сильным, чтобы максимально сократить время инерционного вращения, и вместе с тем достаточно плавным,

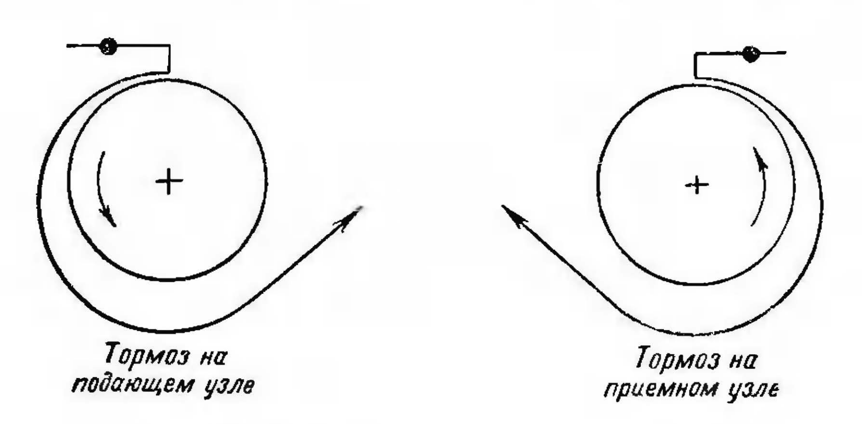


Рис. 83. Работа ленточных тормозов.

чтобы предотвратить чрезмерное натяжение или обрыв ленты при остановке.

На рис. 83 приведена схема ленточных тормозов на подающей и приемной кассетах. Направление обхвата тормозного барабана тормозной лентой должно совпадать с направлением отметки для данной кассеты — в этом случае подающая кассета будет тормозиться более сильно, чем та, на которую ведется намотка, и петли образовываться не будет.

Управление тормозами может быть или механическое, или электромагнитное. На рис. 84 показан ленточный тормоз магнитофона Телефункен T9U с электромагнитным управлением.

С управлением тормозами связывается и управление прижимным роликом. Оно может быть также механическим, но в настоящее время даже в самой простой аппаратуре применяется почти исключительно электромагнитное управление.

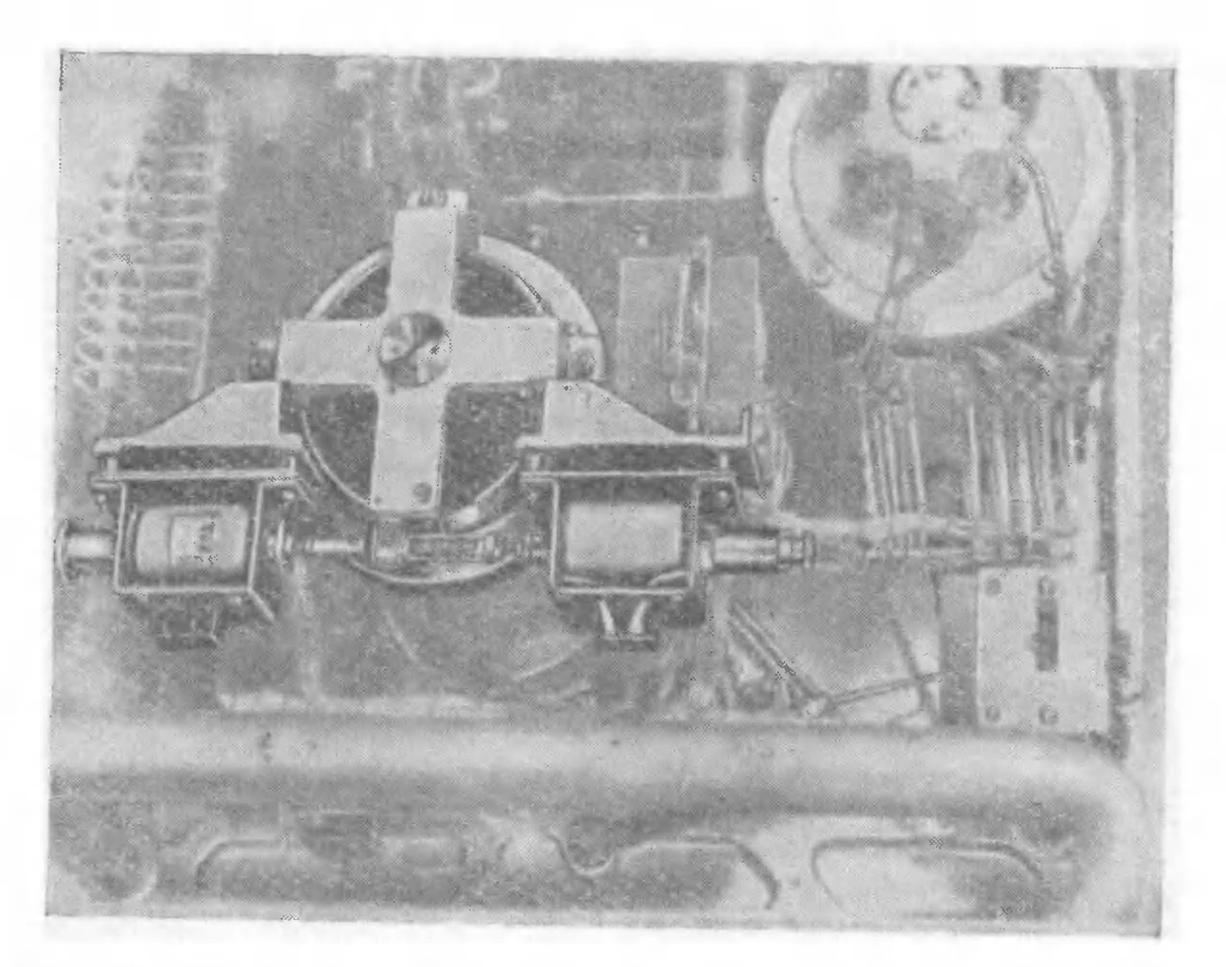


Рис. 84. Вид ленточного тормоза с электромагнитным управлением.

49. Направляющие приспособления

Во время записи и воспроизведения необходимо сохранять перпендикулярность зазоров головок к направлению движения ленты. Для этого прежде всего необходимо ограничить поперечные колебания ленты. С этой целью применяются направляющие ролики, располагаемые вблизи головок. Направляющие ролики можно заменить направляющими колонками, сделанными из твердого материала и жестко укрепленными в нужном месте. Направляющие колонки иногда делаются из стекла; они хороши в отношении износа, но могут быть и источником помех, так как в результате трения ленты о стекло появляются электростатические заряды, стекающие по обмотке головки.

Кроме направляющих колонок, в лентопротяжном механизме помещаются два вращающихся обводных ролика — со стороны подающей и приемной кассет. Эти ролики подвержены радиальному давлению, так как на них направление ленты меняется почти на 90°; они должны быть тщательно обработаны, чтобы не нарушать равномерность хода ленты. На торцовой площадке правого ролика часто наносят стробоскопические сегменты, позволяющие следить за

средней скоростью движения ленты Если число оборотов ролика в минуту равно n, а число сегментов $p = \frac{60 \cdot 100}{n}$, то при освещении неоновой лампой, питаемой от осветительной сети, и правильном ходе ленты сегменты будут казаться неподвижными

50. Подшипники

Все вращающиеся детали лентопротяжного механизма должны вращаться бесшумно, легко и с наименьшим эксцентриситетом Эти требования можно выполнить, применяя подшипники скольжения. Они требуют регулярной и хорошей смазки, которая осуществляется при помощи фетровых прокладок, пропитанных маслом Подшипники качения менее желательны, так как создают вибрацию и шум, ухудшающие качество воспроизведения

51. Плавные и периодические изменения скорости

Различают плавные и периодические изменения скорости движения ленты. Причиной плавного изменения скорости является неравномерность натяжения ленты в начале, середине и конце рулона и в некоторых случаях проскальзывание ленты относительно ведущего ролика и непостоянство числа его оборотов Периодические колебания скорости создают главным образом вращающиеся детали механизма за счет неизбежного эксцентриситета, и прежде всего ведущий ролик. В качестве примера можно привести следующие данные: при допустимом колебании скорости ±0,1% эксцентриситет ведущего ролика диаметром 10 *мм* не должен превышать 0,014 *мм*, т е 14 *мк*.

52. Лентопротяжные механизмы с различными скоростями движения ленты

Изменение скорости движения ленты производится или сменой ведущего ролика (изменением его диаметра), или изменением числа оборотов ведущего двигателя. Однако существуют и другие способы изменения скорости. Например, изготавливается лентопротяжный механизм, в котором можно плавно изменять скорость от 4,75 до 38,1 *см/сек* изменением числа оборотов ведущего ролика (рис. 85). На рис. 86 приведена принципиальная схема этого механизма Ведущий ролик с маховиком приводится в движение через

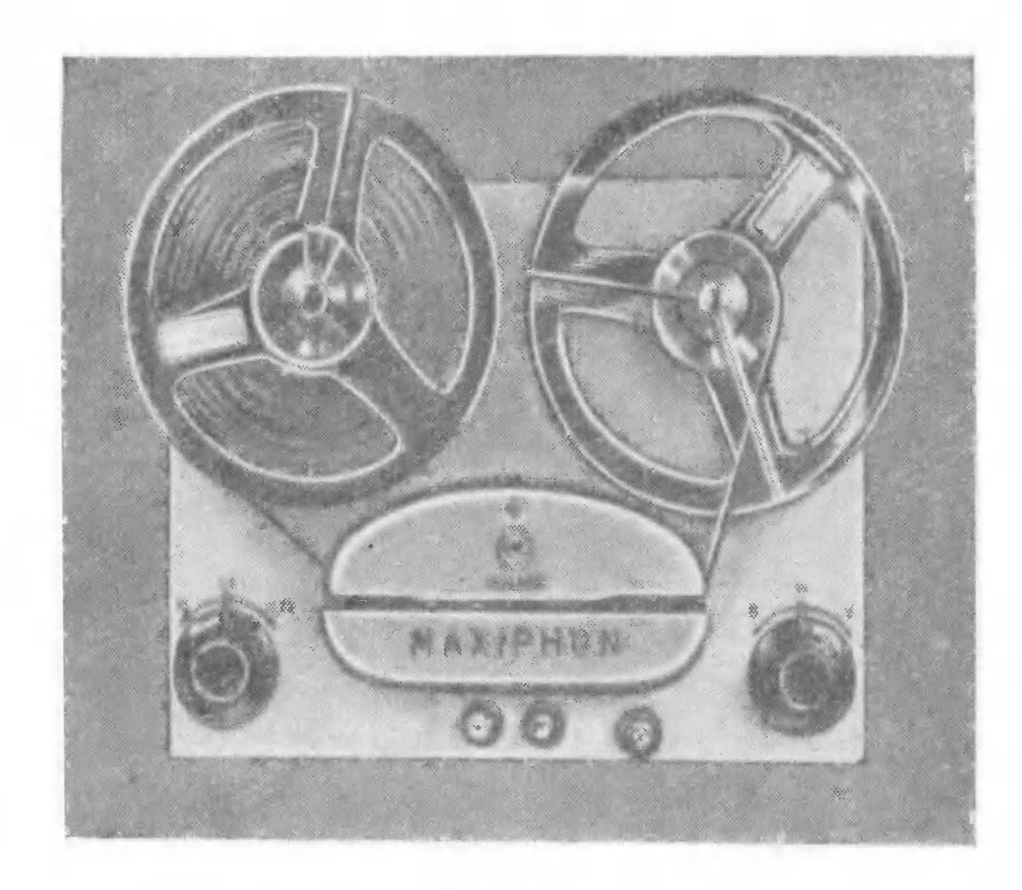


Рис. 85. Вид лентопротяжного механизма Vollmer.

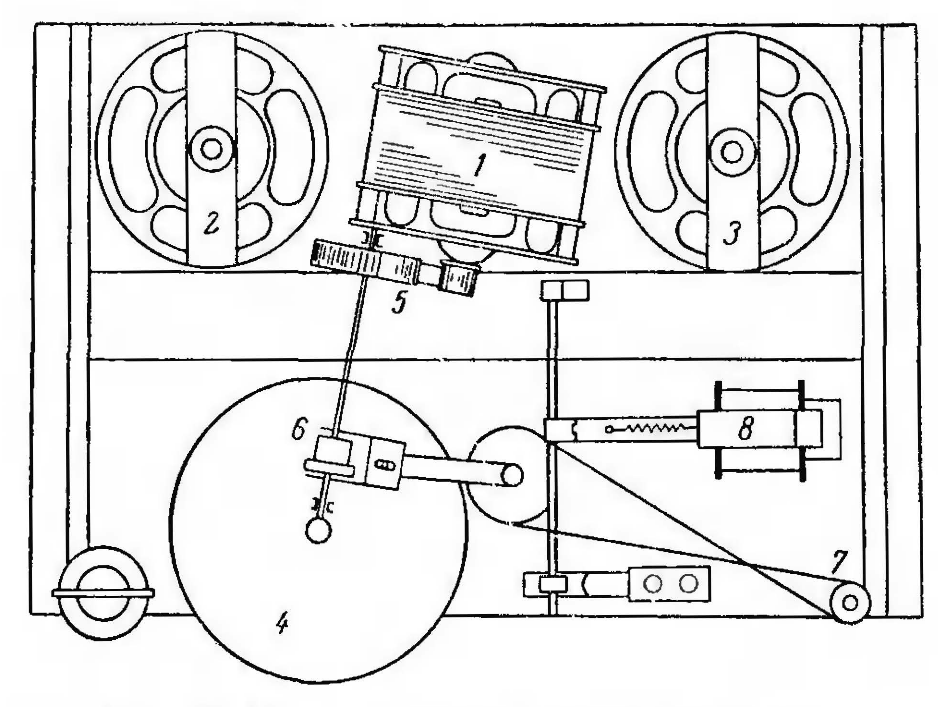


Рис. 86. Схема лентопротяжного механизма с плавным изменением скорости.

1 — ведущий двигатель; *2* — приемный двигатель; *3* — подающий двигатель; *4* — маховик; *5* — привод; *6* — фрикцион; *7* — регулировка скорости ленты; *8* — электромагнит тормоза.

фрикцион. Для получения нужной скорости специальным рычагом изменяется положение фрикционного ролика. Скорость контролируется стробоскопическим способом.

Другой вариант осуществления магнитофона с тремя скоростями движения ленты приведен на рис. 87. На нем

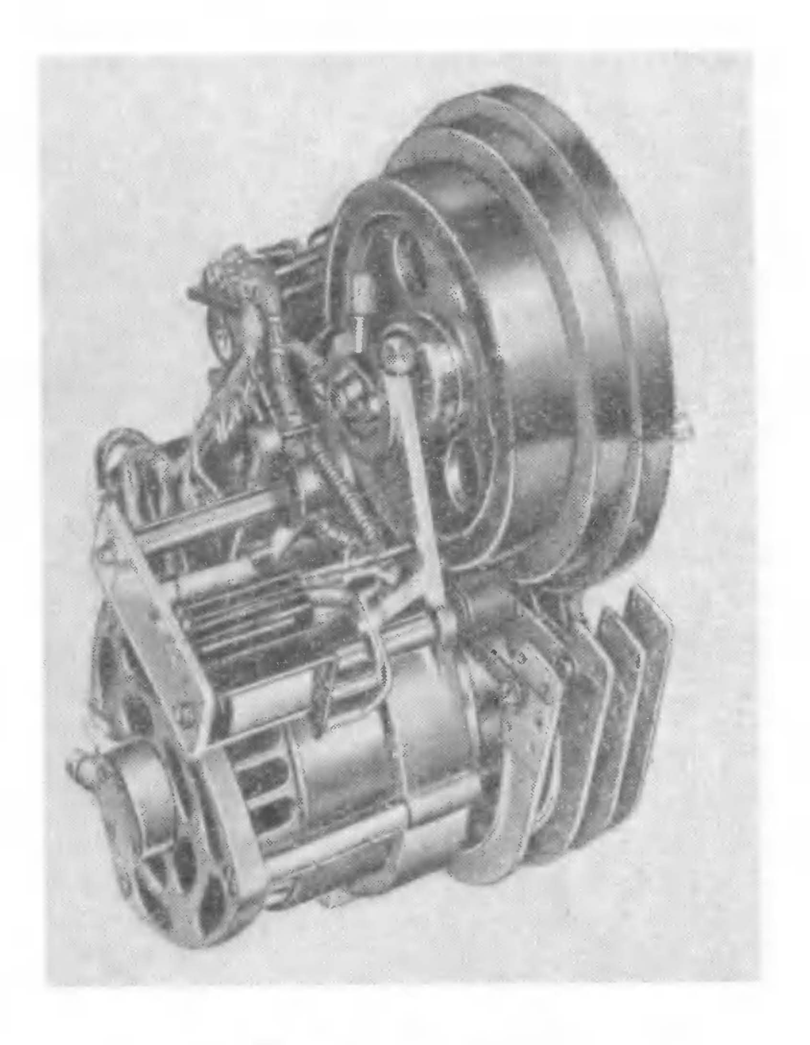


Рис. 87. Узел ведущего двигателя трехскоростного магнитофона.

показан узел ведущего двигателя от магнитофона М5 фирмы Телефункен. На оси двигателя посажен трехступенчатый барабан. Ведущий ролик с большим трехступенчатым маховиком сцепляется с барабаном двигателя тремя паразитными обрезиненными роликами. В нерабочем состоянии эти ролики выведены; при включении ведущего двигателя между барабаном и маховиком автоматически заклинивается один из роликов согласно заранее выбранной скорости (38; 19 и 9,5 *см/сек*).

ГЛАВА ВОСЬМАЯ

ИЗМЕРЕНИЯ В ЗВУКОЗАПИСИ

53. Измерения показателей лентопротяжного механизма

53-1. Измерение средней скорости

Средняя скорость определяется при помощи специальной ленты с одноминутной записью сигнала 1 000 *гц*. Время воспроизведения этого сигнала, определяемое секундомером, не должно отличаться от 1 *мин* на ±0,12 *сек* для магнитофонов I класса, ±0,24 *сек* для II класса, ±0,48 для III класса и ±1,2 *сек* для IV класса [1]. Во время измерений необходимо следить, чтобы частота питающей сети не отклонялась от номинала, в противном случае следует внести поправку в измерения.

53-2. Измерение плавных изменений скорости

В трех местах рулона ленты — в начале, середине и конце — записывается сигнал с частотой 250 *гц* (для II класса эта частота берется 125 *гц*, для III класса — 62,6 *гц*). После записи лента не перематывается; приемная кассета меняется местами с подающей и запись воспроизводится с конца. При этом мы определяем удвоенное значение плавного изменения средней скорости по разности частот записанного и воспроизводимого сигнала. Разность частот определяется по осциллографу. Для этого записывавшийся сигнал подводится от звукового генератора к одной паре отклоняющих пластин и одновременно ко второй паре подводится воспроизводимый сигнал. Разность частот определяется по перемещению изображения на экране осциллографа.

Другой способ определения разности частот основан на явлении биений. К громкоговорителю одновременно подводятся сигнал от генератора и сигнал, воспроизводимый с ленты. При разности частот появляются слышимые биения, частота которых (*n/сек*) равняется разнице обеих частот f_1 и f_2, т. е. $n=f_2-f_1$ (если $f_2>f_1$). При определении плавного изменения средней скорости этим способом можно ориентироваться по данным, приведенным в табл. 6.

[1] Отсчет долей секунды обычным секундомером невозможен. Измерения упрощаются, если вместо одноминутной записи применять пяти или десятиминутную. Прим. редактора.

Таблица 6

Класс магнитофона	Допуски изменения средней скорости, %	Частота контрольной записи, *гц*	Допуск на разницу частот, *гц*	Допустимое число биений в 1 *мин*
I	±0,2	250	±1	120
II	±0,4	125	±1	120
III	±0,8	62,5	±1	120

53-3. Измерение периодических колебаний скорости

Данное измерение производится с помощью звукового генератора и осциллографа по схеме, приведенной на рис. 88. Точность измерений получается достаточной, но сильно зависит от точности определения расстояния между зазорами записывающей и воспроизводящей головок.

При измерении, напряжение от звукового генератора одновременно подводится к записывающей головке и горизонтальным пластинам осциллографа. Напряжение от воспроизводящей головки подается на вертикальные пластины. На экране появляется фигура Лиссажу, форма которой зависит от разности фаз подведенных напряжений. Если скорость ленты совершенно постоянна, то разность фаз и форма фигуры не изменяются. При колебаниях скорости фаза меняется, при этом форма фигуры Лиссажу также периодически изменяется.

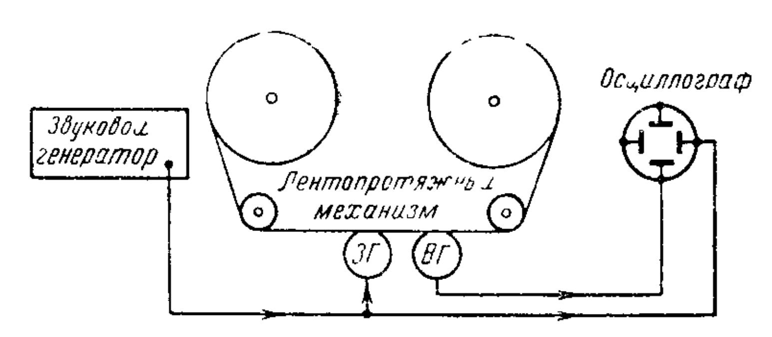


Рис. 88. Схема измерения колебаний скорости.

В процессе измерений частота звукового генератора повышается до тех пор, пока не появляются периодические колебания сдвига фаз на 180°. Этому соответствуют изменения формы фигуры Лиссажу, приведенные на рис. 89. Процент колебания скорости можно подсчитать как

$$k=\frac{v}{2fl}\cdot 100\,[\%],$$

где v — скорость ленты, *см/сек*,
l — расстояние между зазорами головок, *см*,
f — частота звукового генератора, *гц*.

Чем выше частота генератора, при которой сдвиг фаз периодически достигает 180°, тем меньше будут колебания скорости ленты.

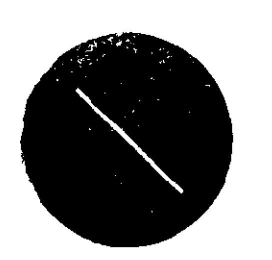
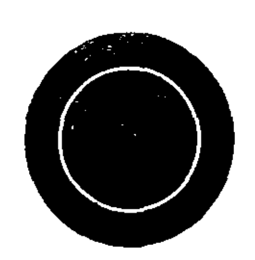
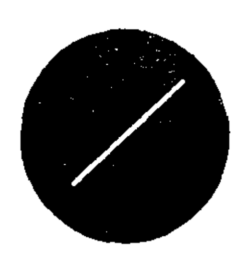




Рис 89 Картина, наблюдаемая при изменении сдвига фазы на 180°.

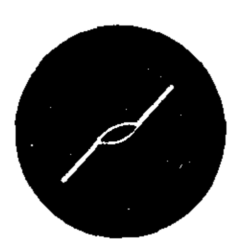
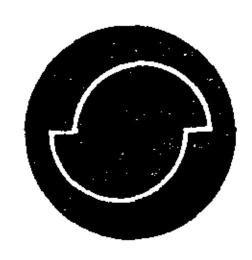
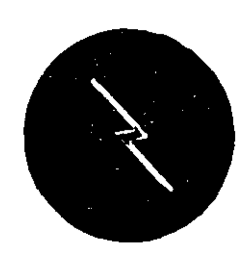




Рис 90. Картина, наблюдаемая при изменении сдвига фазы на 180° и записи без в. ч. подмагничивания

При измерениях в магнитофонах с универсальной головкой в качестве записывающей используется головка стирающая. Так как в этом случае запись ведется без в. ч. подмагничивания, то изображение на осциллографе будет несколько искажено (рис. 90).

53-4. Измерение времени пуска и остановки ленты

Для измерения воспроизводят ленту с записью колебания определенной частоты, например 800 *гц* Наблюдая изображение воспроизводимого сигнала на экране осциллографа, измеряют время от момента включения лентопротяжного механизма до полного успокоения изображения. Развертку осциллографа синхронизируют от звукового генератора колебаниями той же частоты, которые воспроизводятся с ленты.

Время остановки измеряется с момента выключения лентопротяжного механизма до полного покоя ленты.

53-5 Измерение натяжения ленты

Натяжение ленты определяется при помощи приспособления, изображенного на рис. 91. Натяжение измеряется вблизи головок и за ведущим роликом возле правой кассе-

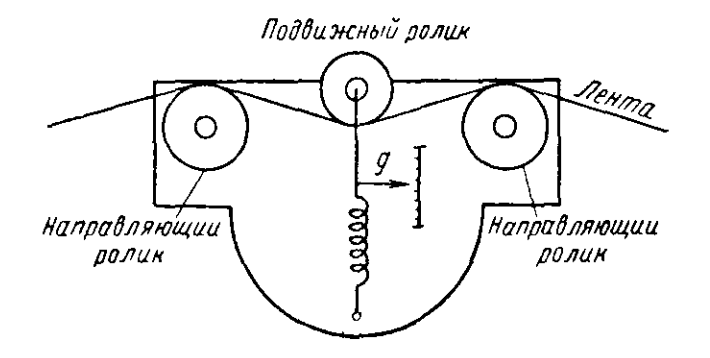


Рис. 91. Приспособление для измерения натяжения ленты

ты. Натяжение ленты вблизи головок должно быть в пределах 50—100 *г*, при ускоренных перемотках не должно превосходить 200 *г*.

При включении и выключении лентопротяжного механизма кратковременное увеличение натяжения ленты не должно превышать 500 *г*.

54. Измерение электроакустических параметров

54-1. Измерение частотной характеристики усилителя записи

Для измерения низкочастотного тока записи и его частотной зависимости в цепь записывающей головки включается последовательно активное сопротивление, равное примерно по величине активному сопротивлению головки Изменение напряжения на этом сопротивлении в зависимости от частоты и дает частотную характеристику тока записи. Напряжение измеряется ламповым вольтметром; иногда характер сигнала контролируется осциллографом для выявления возможных искажений. На этом же сопротивлении измеряется ток в ч. подмагничивания и подбирается его нужное значение. Общий ток намагничивания, т. е. ток в ч. подмагничивания плюс н ч. ток записи, дает на экране осциллографа изображение, показанное на рис 28,*б*.

54-2. Измерение частотной характеристики усилителя воспроизведения

Для измерения частотной характеристики применяется входное устройство по схеме, показанной на рис. 92. Характер изменения напряжения U_2 в этой схеме при измене-

нии частоты очень схож с ходом частотной характеристики э. д. с. воспроизводящей головки. Правда, такие схемы действительны лишь для определенного типа головок, и значения отдельных элементов необходимо изменять, переходя к измерениям в магнитофонах с другими головками

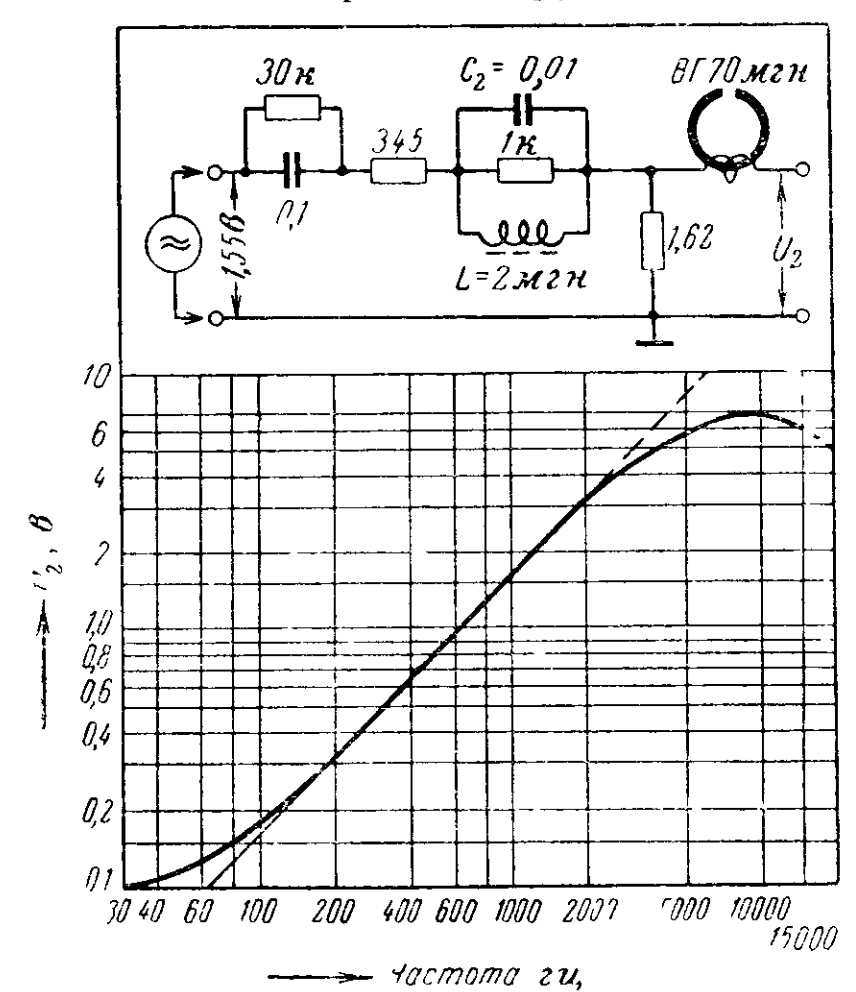


Рис. 92. Схема входного устройства для измерений усилителя воспроизведения.

После проверки частотной характеристики усилителя в отдельности она подстраивается по контрольной ленте (тестфильму) так, чтобы при воспроизведении различных частот выходное напряжение в нужных пределах было равномерным.

54-3. Измерение сквозной частотной характеристики

Сквозная частотная характеристика определяет качество всего тракта магнитофона, т. е. усилителя записи, самой записи на ленте и усилителя воспроизведения. До измерения сквозной характеристики необходимо предварительно размагнитить головки и ролики на лентопротяжном механизме, а также проверить параллельность зазоров записывающей и воспроизводящей головок. На рис. 93 схематически приведены допуски на сквозную частотную характеристику. Рабочий частотный диапазон сквозного тракта зависит от класса аппаратуры и определяется величиной крайних частот $f_н$ и $f_в$.

Перед измерением сквозной характеристики усиление и коррекция усилителя воспроизведения подстраиваются по

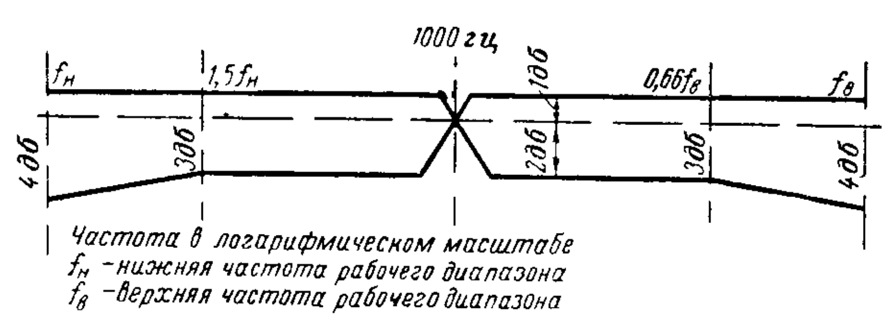


Рис. 93. Допуски для сквозной частотной характеристики.

контрольной ленте так, чтобы колебания различных частот, записанные на контрольной ленте, воспроизводились равномерно

Частотная характеристика усилителя записи подстраивается так, чтобы запись различных частот, сделанная на эталонной ленте, при воспроизведении обеспечивала равномерное выходное напряжение в пределах допусков, приведенных на рис. 93.

Сквозная характеристика измеряется при напряжении входного сигнала на 10—20 *дб* ниже, чем требуемое для максимально допустимого намагничивания ленты

54-4. Измерение динамического диапазона и уровня собственных шумов магнитофона

В акустике под динамическим диапазоном подразумевается разница в уровнях между самым тихим и самым громким звуками.

В магнитной звукозаписи под динамическим диапазоном понимают отношение (*дб*) полезного напряжения выходного сигнала к так называемому псофометрическому напряжению.

Псофометрическим напряжением называется эффективное напряжение собственных шумов магнитофона, измеряемое на его выходе после частотной корректировки, необхо-

димой в связи с неравномерной чувствительностью уха к разным частотам в шумовом спектре. На рис. 94 дана схема фильтра для измерения псофометрического напряжения и его частотная характеристика. Кривая на рис. 94 является почти зеркальным отображением кривой, равной громкости при уровне в 30 фон (рис. 6).

Отношение (*дб*) напряжения шумов к напряжению полезного сигнала называют относительным уровнем собст-

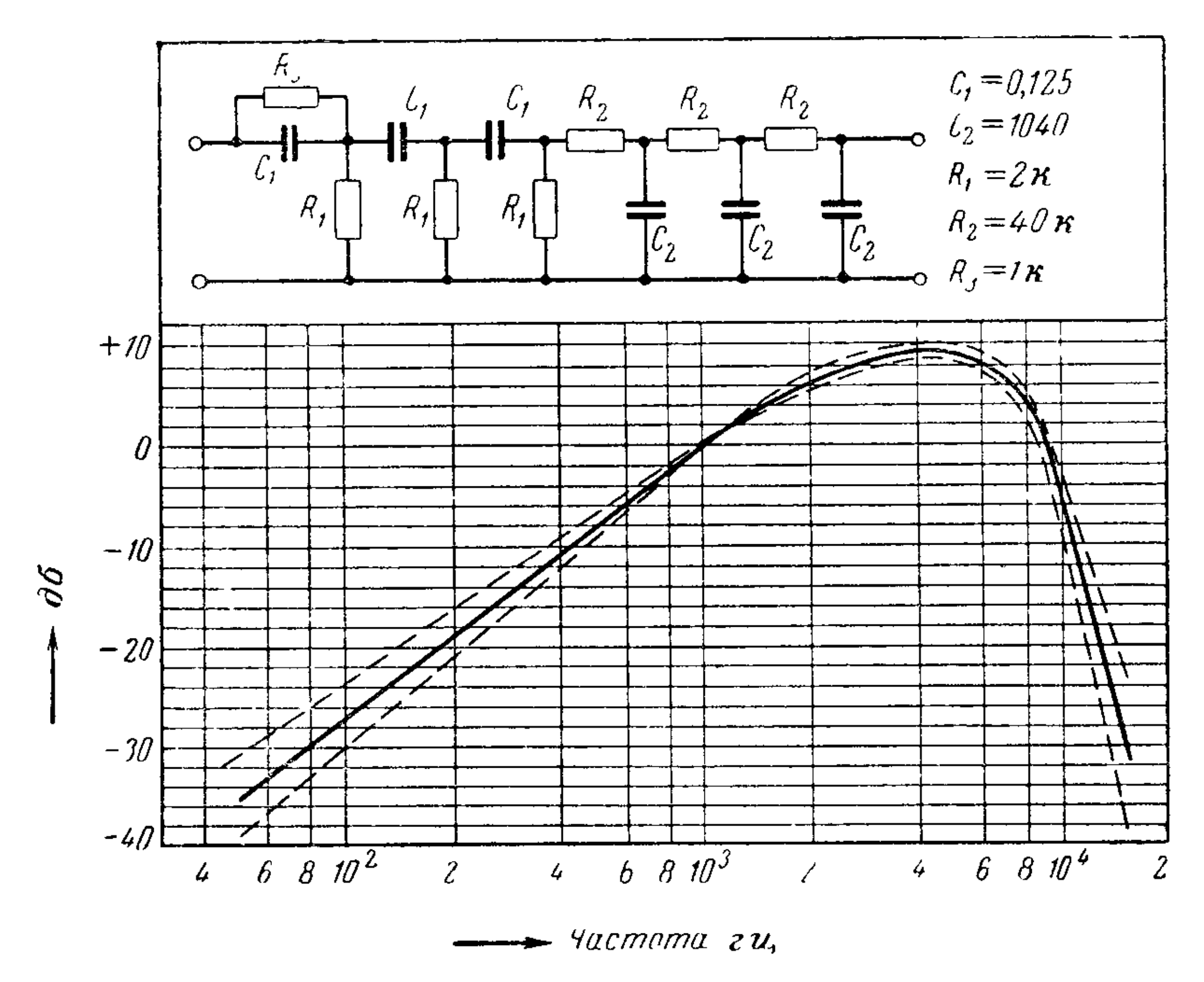


Рис. 94. Схема и частотная характеристика фильтра для измерения псофометрического напряжения.

венных шумов магнитофона. Это отношение всегда меньше единицы, и поэтому к его величине в децибелах всегда приписывается знак минус. Динамический диапазон всегда больше единицы, и его величина приводится в децибелах со знаком плюс.

Динамический диапазон можно определять или для режима покоя, или для режима модуляции. Для этого необходимо измерить псофометрическое напряжение покоя и псофометрическое напряжение при модуляции.

Псофометрическое напряжение покоя определяется как эффективное напряжение шумов на выходе усилителя воспроизведения, измеряемое в сквозном канале через фильтр со специальной частотной характеристикой (рис. 94). При этом сигнал ко входу усилителя записи не подается.

Псофометрическое напряжение при модуляции определяется так же, как и напряжение покоя, но к записывающей головке подводится постоянный ток, равный эффективной величине н. ч. тока записи, необходимого для максимально допустимого намагничивания ленты.

Динамический диапазон покоя определяется отношением (*дб*) максимального напряжения полезного сигнала к псофометрическому напряжению покоя.

Динамический диапазон при модуляции определяется отношением (*дб*) максимального напряжения полезного сигнала к псофометрическому напряжению при модуляции.

Для определения относительного уровня собственных шумов покоя и при модуляции необходимо измерить величину напряжения шумов покоя и при модуляции.

Напряжение шумов измеряется так же, как псофометрическое напряжение, но без упомянутого ранее фильтра.

Результаты всех перечисленных измерений в большой степени зависят от применяемой ленты. Понятие «максимально допустимая намагниченность» означает такую намагниченность ленты, при которой нелинейные искажения

Таблица 7

Качественные показатели магнитофонов

Класс	Общий диапазон частот, *гц*		Наименьшее значение динамики покоя, *дб*	Наибольшее значение относительного уровня собственных шумов, *дб*	Общее наибольшее значение гармонических искажений, %	Наибольшее плавное изменение средней скорости, %	Наибольшее значение колебаний скорости, %	Наибольшее время запуска, *сек*	Наибольшее значение времени остановки, *сек*	Наибольшее время записи, *мин*
	от	до								
I	30	15 000	+65	—55	2,0	0,2	±0,1	0,5	0,3	20
II	40	12 000	+60	—50	2,8	0,4	±0,2	0,7	0,4	20
III	60	8 000	+50	—40	3,5	0,8	±0,4	0,7	0,5	15
IV	120	5 000	+40	—35	4,0	2,0	±0,6	0,7	—	—
V	250	3 500	—	—30	10,0	—	—	1,0	1,0	—

сигнал имеют максимальное значение, допустимое для данного класса магнитофонов. Характерные показатели отдельных классов приведены в табл. 7.

Данные, приведенные в этой главе, заимствованы из чехословацкого стандарта ČSN 3684 36 «Основные величины магнитной записи звука».

ГЛАВА ДЕВЯТАЯ

ПРОМЫШЛЕННЫЕ ОБРАЗЦЫ МАГНИТОФОНОВ

В этой главе описываются некоторые промышленные образцы магнитофонов, начиная с самых простых и кончая сложной специализированной аппаратурой. Глава должна дополнить теоретические сведения предыдущих глав. Кроме того, радиолюбители смогут найти в ней много сведений для собственных конструкций.

55. Магнитофонная приставка «Toni» (ГДР)

Технические данные

Диапазон частот (с лентой типа С)	60—6 000 *гц*
Частота тока в. ч. подмагничивания	~ 40 *кгц*
Запись	двухдорожечная
Скорость ленты	19,05 *см/сек*
Индикатор уровня	неоновая лампа
Необходимый момент вращения двигателя граммофона	120 *г/см*
Лампы	2 × ECC81

Приставка (рис. 95) является несложным магнитофоном для записи и воспроизведения. Подключается она к электропроигрывателю, используемому в качестве двигателя, и к вещательному приемнику. На рис. 96 приведена схема усилителя, в. ч. генератора и выпрямителя приставки.

При записи радиовещательной программы выходной сигнал приемника (с клемм, предназначенных для включения второго громкоговорителя) подается на вход *1*. Этот сигнал (эффективное значение напряжения около 15 *в*) через конденсатор C_{11}, фильтр-пробку L_1C_{16}, цепочку R_9C_{13}, корректирующую высокие частоты, и контакты *11—12* переключателя $П_1$ подается на записывающую головку *ЗГ*. Ток в. ч. подмагничивания подводится к головке через полупеременный конденсатор C_{15}. Генератор собран на лампе $Л_2$ типа ECC81.

В случае записи с пьезоэлектрического или высокоомного электродинамического микрофона напряжение с него подается на вход *2* и далее через контакты *19—20* на сетку двухкаскадного *RC* усилителя, собранного на лампе $Л_1$. С выхода усилителя через конденсатор C_5, цепочку $R_{13}C_6$, корректирующую высокие частоты, и цепочку $R_{16}C_7C_{10}$ напряжение подается на гнезда «звукосниматель» радиовещательного приемника и с выхода последнего на головку записи, аналогично предыдущему.

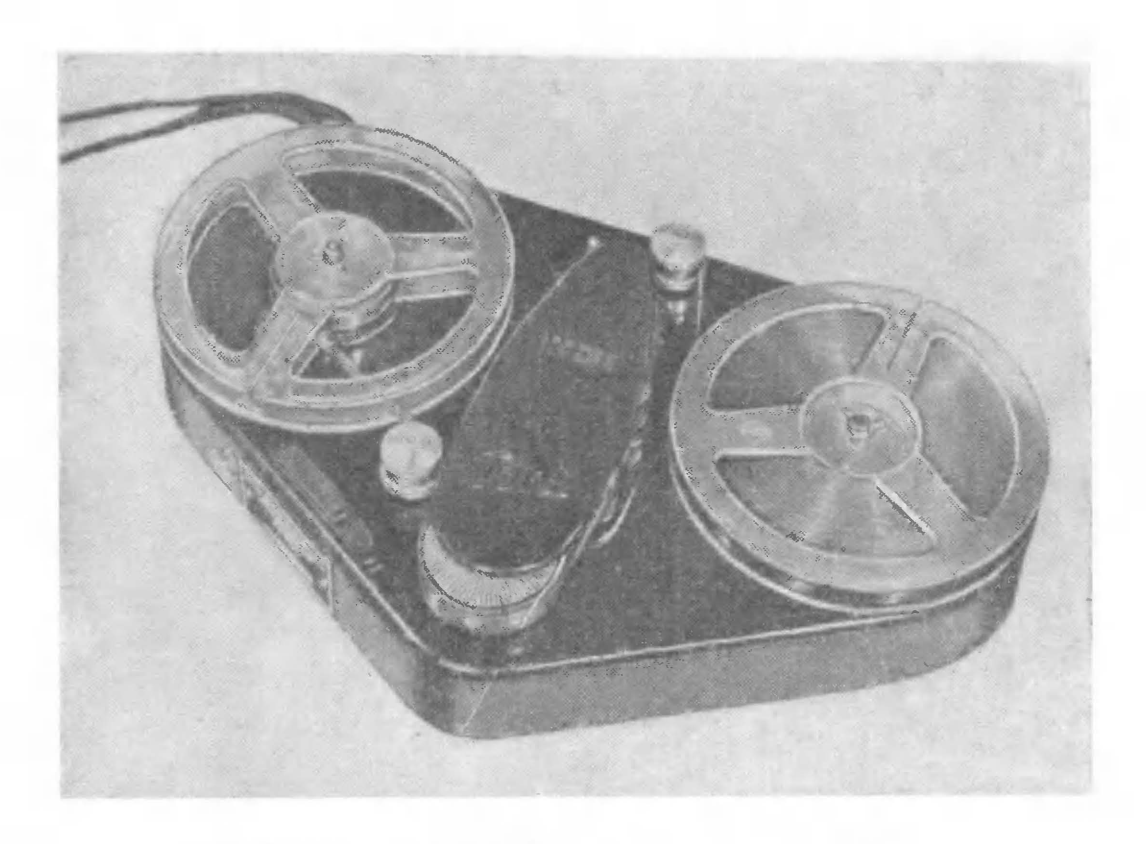


Рис. 95. Вид магнитофонной приставки „Toni".

При воспроизведении напряжение воспроизводящей головки *ВГ* подается через корректирующую цепочку R_1C_1, подчеркивающую высокие частоты, и контакты *22—21* на сетку лампы $Л_1$, работающей в качестве предварительного двухкаскадного *RC* усилителя. Напряжение низкой частоты затем передается на сетку лампы $Л_2$ через конденсатор C_5 и корректирующее звено $R_{13}C_6$, контакты *1—2* и сопротивление R_{15}. Усиленный сигнал через контакты *17—18* и конденсатор C_{10} подается на гнезда «Звукосниматель» приемника. Цепочки обратной связи $R_{19}C_{12}R_2$ и $R_{16}C_7$ корректируют частотную характеристику воспроизведения. Конденсатор C_{17} предотвращает возможность самовозбуждения усилителя.

Рис. 96. Схема усилителя и в. ч. генератора в приставке „Topi".

Переключатель $П_1$

№ Контакта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Воспроизведен	○	○			○	○			○	○			○	○			○	○			○	○		
Запись			○	○			○	○			○	○			○	○			○	○			○	○

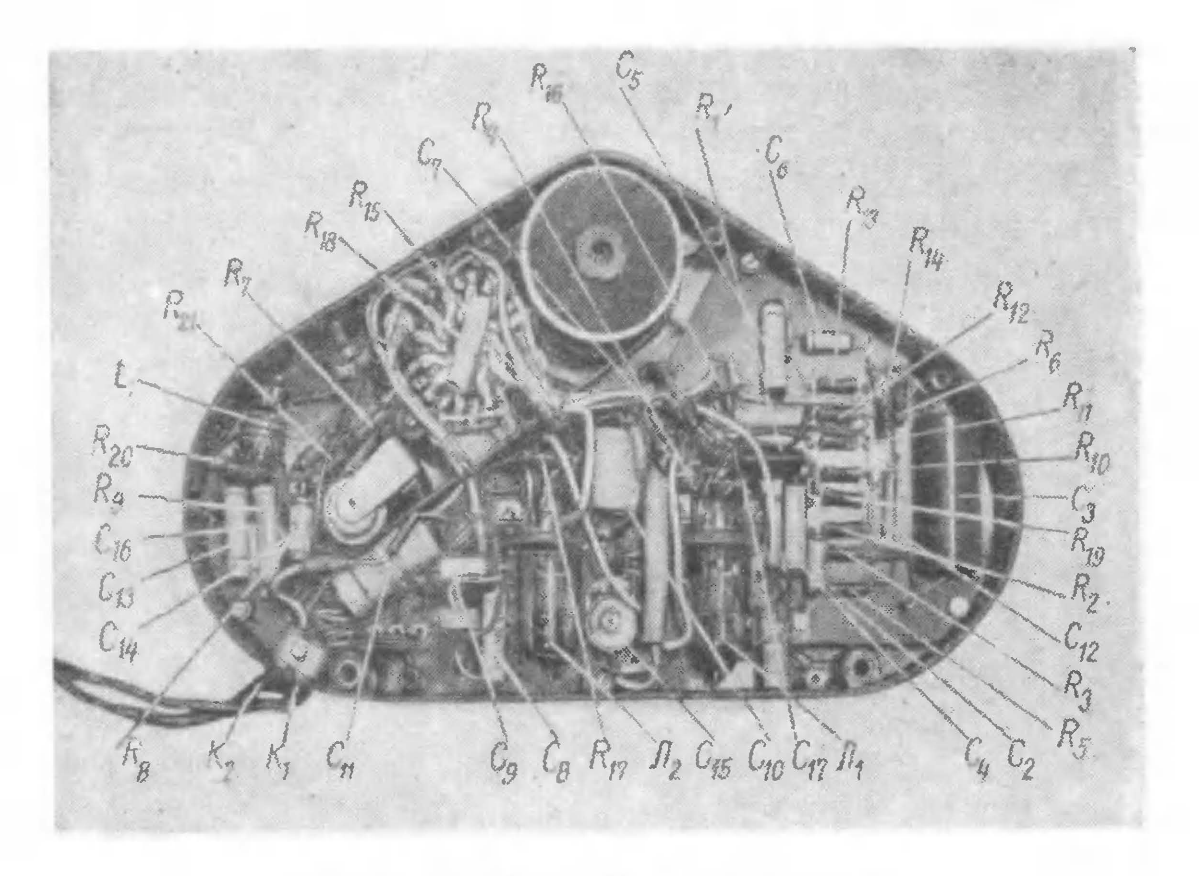


Рис 97 Внутренний вид приставки

Высокочастотный генератор работает на лампе $Л_2$ с настроенным контуром в анодной цепи и индуктивной обратной связью. Аноды лампы $Л_2$ соединяются в параллель через контакты *15 — 16*. Стирающая головка *СГ* подключена к катушке связи генератора через конденсаторы C_8 и C_9.

Уровень записи контролируется неоновой лампочкой *НЛ*. При положении переключателя $П_1$ «Запись» эта лампочка получает начальное постоянное напряжение с делителя R_{21} R_8, благодаря чему сигнализирует лишь о пиках переменного напряжения (около 21 *в*), подводимого через конденсатор C_{14}.

Описанная электронная часть приставки, кроме выпрямителя, размещена непосредственно в карболитовом штампованном корпусе лентопротяжного механизма. Расположение деталей внутри корпуса видно на рис. 97; нумерация сопротивлений и конденсаторов соответствует номерам деталей на схеме.

56. Магнитофон «BG 19-2» (ГДР)

Магнитофон BG 19-2 предназначен для записи и воспроизведения с использованием вещательного приемника или внешнего усилителя (рис. 98) Управление осущест-

вляется тремя кнопками; «Вперед», «Стоп», «Назад» и переключателем «Запись — воспроизведение». Лентопротяжный механизм одномоторный. Лента протягивается непосредственно отшлифованной осью мотора и прижимным роликом. В магнитофоне применена одна комбинированная головка; стирание ленты осуществляется перед записью — размагничивающим электромагнитом, питаемым от сети.

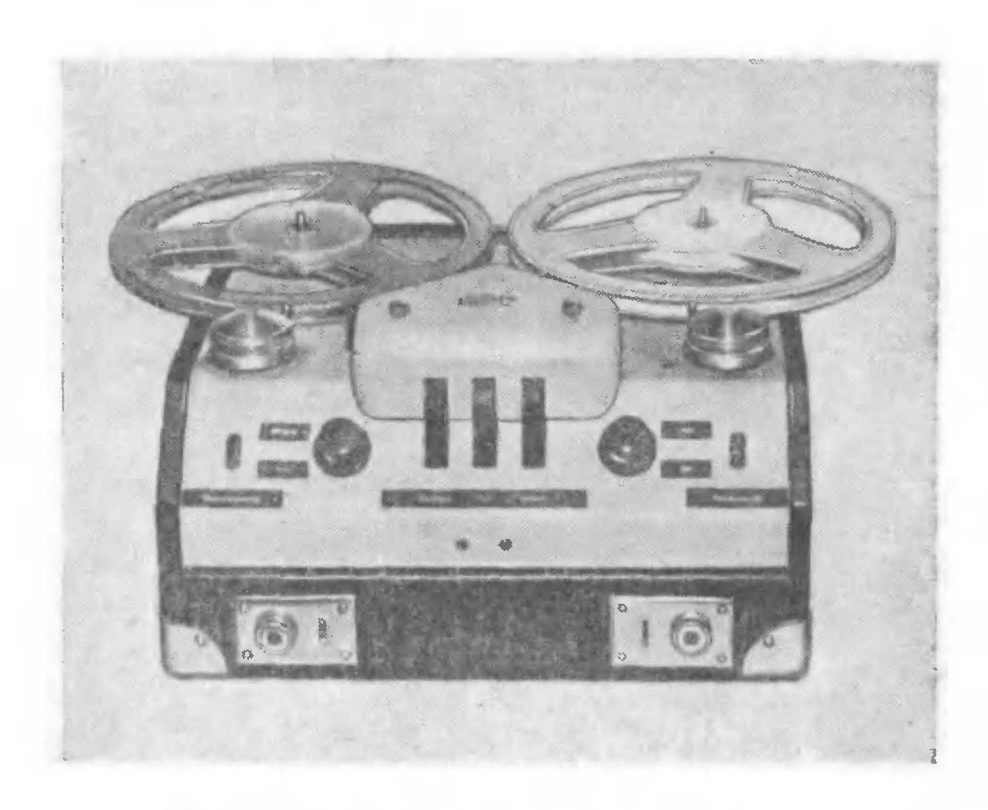


Рис 98. Вид магнитофона «BG 19-2».

На рис. 99 приведена схема усилителя и генератора в. ч. тока подмагничивания.

При записи вход магнитофона подключается к выходу вещательного приемника (гнезда добавочного громкоговорителя) или соответствующего усилителя. Универсальная головка *УГ* включена через разделительный трансформатор $Тр_1$, устраняющий опасность попадания в головку постоянного напряжения с выхода приемника. Вторичная обмотка сделана с отводом; это позволяет использовать одну половину для магнитной головки, а всю обмотку — для неоновой лампочки индикатора уровня *НЛ*, включенной через добавочное сопротивление R_1. Цепочка $R_3\,C_3$ создает подъем высоких частот, а фильтр-пробка $L_1\,C_6$ препятствует попаданию тока подмагничивания во вторичную обмотку трансформатора. Напряжение записываемого сигнала

Рис. 99. Схема электронной части магнитофона „BG 19-2“.

подводится к обмотке универсальной головки $УГ_{3-4}$ через контакты $F_1 - DF_1$ на переключателе $П_{3-2}$.

Ток подмагничивания вырабатывается генератором на лампе $Л_2$ и подводится через конденсаторы C_{16}, C_{28} к записывающей головке. Величину тока подмагничивания можно подобрать изменением емкости конденсатора C_{16}.

При воспроизведении переключатель рода работы ставится на второе крайнее положение. Часть переключателя $П_{3-2}$ включает последовательно обе обмотки универсальной головки и индуктированное в них напряжение подводится к сетке $Л_1$. Цепочка обратной связи $C_7R_5R_4C_2$ корректирует частотную характеристику. Переключатель $П_{3-1}$ отключает обратную связь в генераторе и подводит на сетку лампы $Л_2$ усиленное напряжение от лампы $Л_1$ (положение переключателя $AC_1 - A_1$). Частотная характеристика корректируется еще раз цепочкой обратной связи $C_{18}R_{15}R_{14}C_{12}$. Анодная цепь лампы $Л_2$ замыкается переключателем $П_{3-4}$ (положение $DEF_2 - DE_2$).

Выход магнитофона подключен к гнездам «Звукоснимателъ» приемника. Таким образом, при воспроизведении лампы $Л_1$, $Л_2$ образуют предварительный двухкаскадный усилитель.

Выпрямитель включается тумблером $П_1$. Параллельно первичной обмотке трансформатора $Тр$ через ограничительное сопротивление R_2 подсоединена неоновая сигнальная лампочка. Двухступенчатый фильтр обеспечивает хорошую фильтрацию анодного напряжения.

Замыканием контактов *1 — 3* или *4 — 6* на переключателе $П_2$ коммутируется направление вращения ведущего двигателя.

Общий переключатель «Запись — воспроизведение», объединяющий переключатели $П_{3-1}$; $П_{3-2}$; $П_{3-3}$; $П_{3-4}$, состоит из 2 плат — верхней и нижней. На схеме контакты верхней платы (*ABCD*...) обозначены индексом 1, нижней — индексом 2.

Универсальная головка кольцевого типа с сердечником из пластин мюметалла; толщина пластин 0,2 *мм*, высота набора сердечника 3 *мм*. Передний рабочий зазор имеет ширину 10 *мк* и заполнен бериллиевой бронзой, задний зазор практически отсутствует. Обе катушки головки имеют по 1 200 витков провода диаметром 0,07 *мм* с эмалевой изоляцией. Индуктивность головки при последовательном включении катушек около 1,1 *гн*.

Технические данные:

Неравномерность частотной характеристики в диапазоне 60—7 000 *гц* (на ленте типа С)	±5 *дб*
Запись	двухдорожечная
Скорость движения ленты	19,05 *см/сек*
Относительный уровень собственных шумов	—30 *дб*
Частота тока подмагничивания	40 *кгц*
Входное сопротивление	100 *ком*
Выходное напряжение	0,5 *в*
Индикатор уровня	неоновая лампа
Число ламп	2 × EF-12

57. Магнитофон «Tonmeister» (ГДР)

Общий вид магнитофона показан на рис. 100. Магнитофон имеет один двигатель и работает в комбинации с вещательным приемником или внешним усилителем. Под основной панелью смонтированы ведущий двигатель и электронная часть магнитофона (рис. 101).

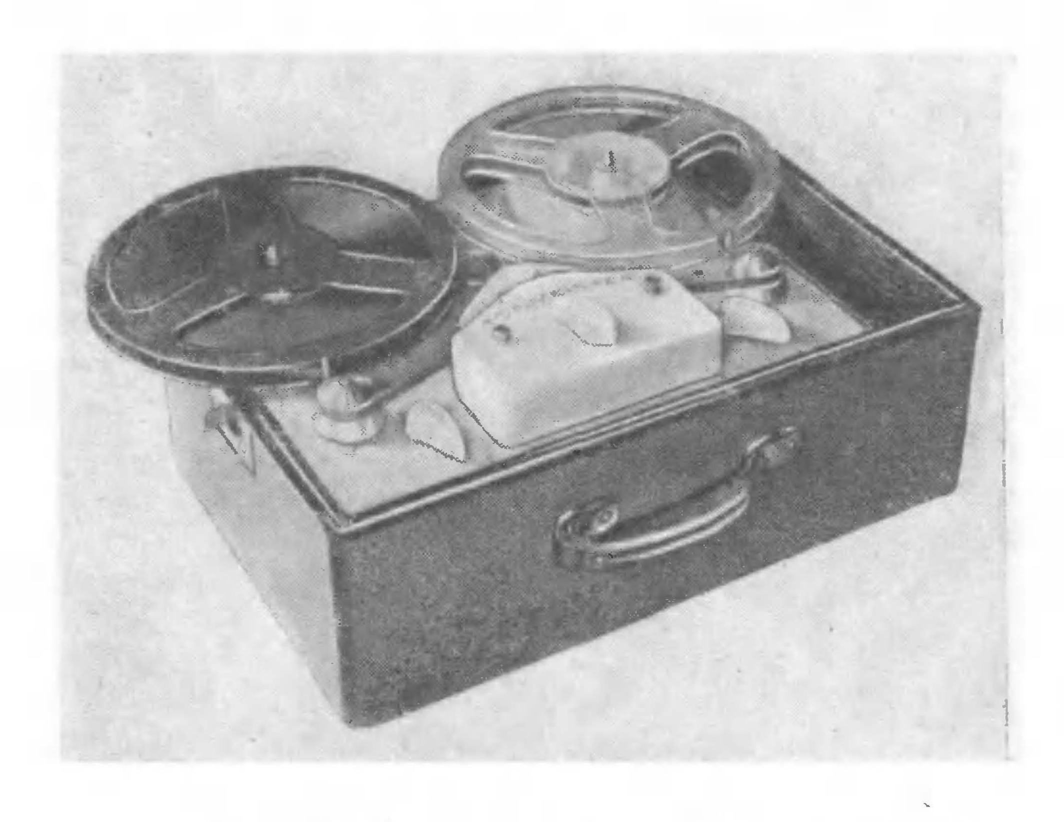


Рис. 100. Вид магнитофона „Tonmeister".

Вход магнитофона (см. рис. 102) соединяется с гнездами приемника для подключения внешнего громкоговорителя, выход — с гнездами «звукоснимателя» того же приемника. При положении переключателя вида работ «Воспроизведение» обе части комбинированной лампы ECH81

работают как усилитель. Подъем низких частот осуществляется цепочкой обратной связи R_8C_{15}, средние частоты корректируются цепью R_6C_{13}, высокие частоты — резонансным контуром, состоящим из индуктивности универсальной головки и емкости C_4, и контуром L_2C_{12}. На-

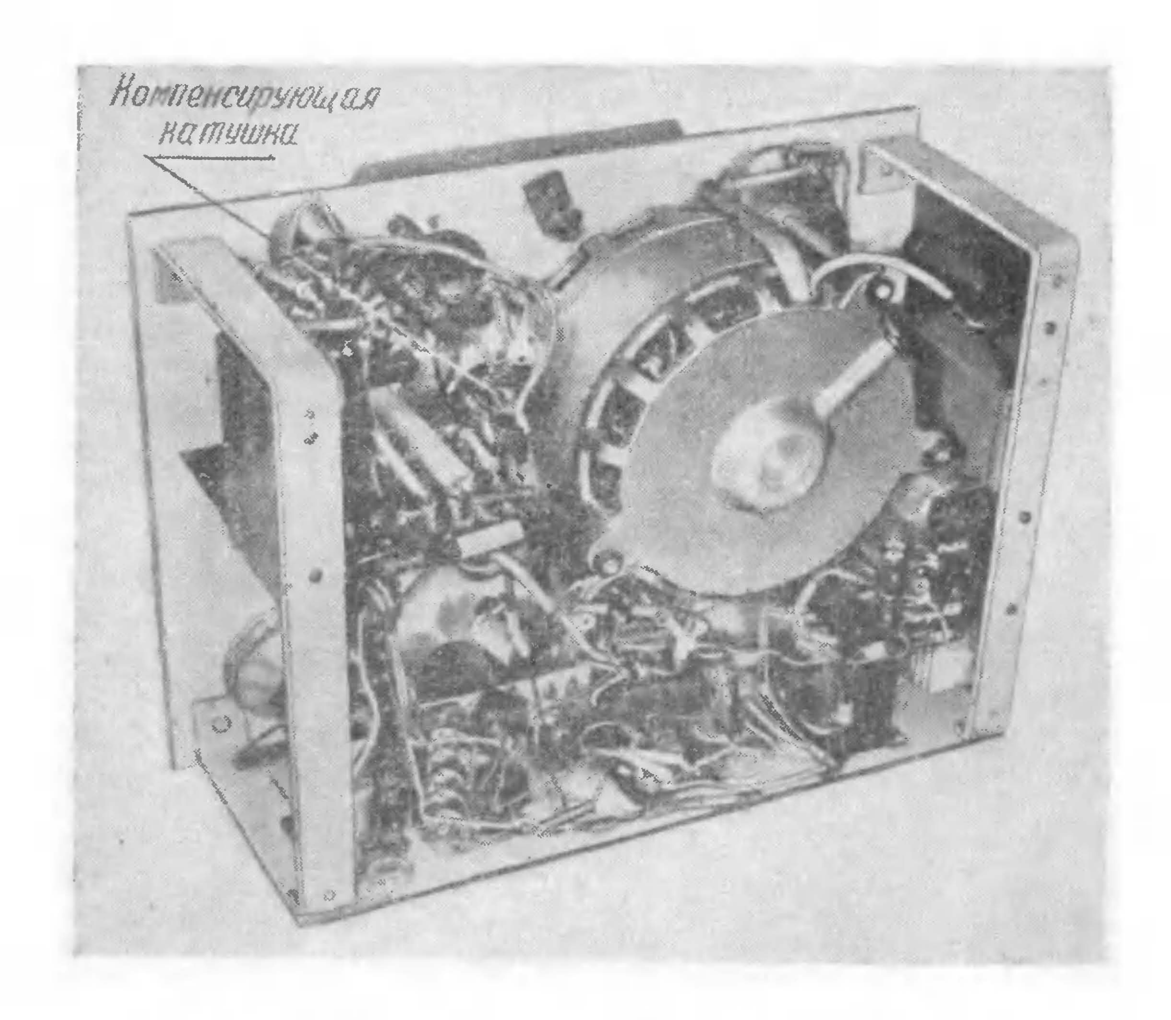


Рис. 101. Внутренний вид магнитофона „Tonmeister".

пряжение наводимых помех в головке ослабляется последовательно включенной катушкой компенсации, положение которой внутри магнитофона выбирается при регулировке.

При положении переключателя вида работ «Запись» пентодная часть лампы $Л_1$ работает в качестве в. ч. генератора, а триодная часть как микрофонный усилитель. Корректирующая цепочка $R_1R_2C_3$ производит подъем высоких частот при записи. Резонансный фильтр, составленный из триммера T_3 и катушки L_4, препятствуют проникновению высокой частоты из магнитофона в приемник.

Рис. 102. Схема электронной части магнитофона „Tonmeister"

Технические данные:

Рабочий диапазон частот	До 10 *кгц*
Частота тока подмагничивания	~ 50 *кгц*
Запись	двухдорожечная
Скорость движения ленты	19,05 *см/сек*
Относительный уровень собственных шумов	—40 *дб*
Входное сопротивление	20 *ком*
Выходное сопротивлние	10 *ком*
Входное напряжение	~25 *в*
Выходное напряжение (при ленте типа СН)	1,5 *в*
Лампы типа ЕСН81	1 шт.
„ „ ЕМ11	1 шт

58. Магнитофон «Днепр 5» (СССР)

Магнитофон «Днепр 5» (рис. 103) имеет одномоторный лентопротяжный механизм с механическим управлением пятью кнопками. Лента протягивается отшлифованной осью ведущего двигателя и обрезиненным прижимным роликом. Приемная кассета приводится в движение пассиком; обратная перемотка ленты осуществляется фрикци-



Рис. 103. Вид магнитофона „Днепр-5"

Рис 104. Схема магнитофона „Днепр 5".

онной передачей, вводимой между маховиком ведущего двигателя и подающей кассетой.

Весь магнитофон, включая электронную часть и громкоговоритель, размещен в деревянном лакированном ящике. На его лицевой стороне, внизу, размещены ручки регуляторов громкости и тембра, на уровне громкоговорителя расположен электронно-лучевой индикатор уровня. Полная схема электронной части приведена на рис. 104.

Технические данные:

Неравномерность частотной характеристики в диапазоне частот 100—5 000 *гц*	±1 *дб*
Гармонические искажения	Не более 5%
Частота тока подмагничивания	25 ± 5 *кгц*
Скорость движения ленты	19,05 *см/сек*
Периодические колебания скорости	±0,3%
Плавное изменение скорости	1 %

59. Магнитофон «Tesla MG 10» (ЧСР)

Данный портативный магнитофон применяется для записи и воспроизведения звука без подключения к радиоприемнику. Магнитофон рассчитан на массового потребителя, но может применяться и на трансляционных узлах.

Магнитофон оформлен в виде чемодана: боковые стенки сделаны из карболита и соединяются с деревянными стенками, образуя основной каркас. Дно и верхняя крышка легко снимаются (рис. 105). На левой стенке выведены

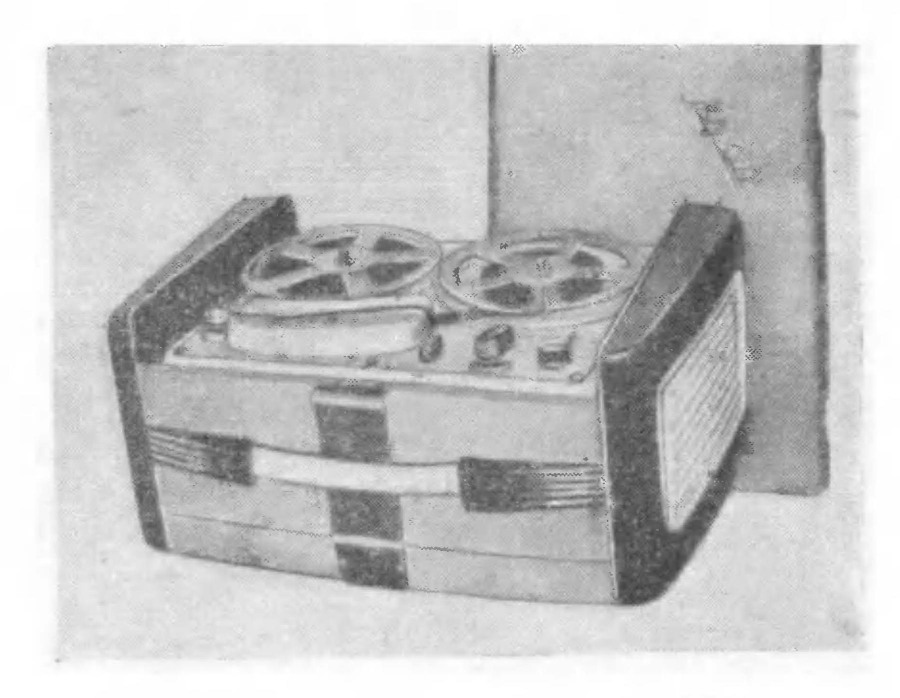


Рис. 105. Вид магнитофона „Tesla MG10“.

Рис. 106. Схема магнитофона „Tesla MG10“.

разъемы для включения микрофона, телефонные гнезда для контроля записи и гнезда подключения дополнительного громкоговорителя. На правой стенке укреплен громкоговоритель. Магнитофон имеет две скорости ленты и рассчитан на двухдорожечную запись.

Лентопротяжный механизм укреплен на металлической панели, под ним расположены усилитель и выпрямитель. На правой стороне верхней панели расположены ручки управления.

Четырехкаскадный усилитель магнитофона (рис. 106) собран на лампах типа 6CC42S, 6F32, 6F36, 6L31. Управление усилителя осуществляется двумя переключателями: один — переключатель рода работ «Запись — воспроизведение», второй, соединенный с рычагом управления скоростью ленты, переключает корректирующие звенья в усилителе. Входные лампы 6CC42S и 6F32 амортизированы. Лампа 6L31 работает при записи в качестве в. ч. генератора, а при воспроизведении — как выходной каскад усилителя. Индикатор уровня электронно-оптический. В выпрямителе работает кенотрон 6Z31.

Технические данные:

Скорость движения ленты (с переключением) .	19 и 9,5 *см/сек*
Неравномерность частотной характеристики:	
в диапазона 90—7 000 *гц* при скорости 19 *см/сек*	±3 *дб*
в диапазоне 100—4 000 *гц* при скорости 9,5 *см/сек*	±3 *дб*
Входная чувствительность и входное сопротивление:	
для микрофонного входа 1 *мв*	6 *мом*
для входа с радиоприемника 100 *мв* .	0,5 *мом*
Выходная мощность при искажениях 4% . .	1,5 *вт*
Динамический диапазон	40 *дб*
Частота тока подмагничивания . .	55 *кгц*
Выход для подключения внешнего громкоговорителя	$R = 5$ *ом* $U = 1,55$ *в*
Вес	16,5 *кг*

60. Магнитофон «Sander Janzen SJ 155/02» (ГДР)

Общий вид данного магнитофона приведен на рис. 107. Запись производится с кристаллического микрофона или от радиоприемника; воспроизведение осуществляется через собственный громкоговоритель, питаемый от усилителя с выходной мощностью 4 *вт* или через низкочастотную часть радиоприемника. При записи громкоговоритель можно отключать. Лентопротяжный механизм — одномоторный (рис. 108). Электронная часть магнитофона вместе с гром-



Рис 107. Вид магнитофона „SJ 155/02"

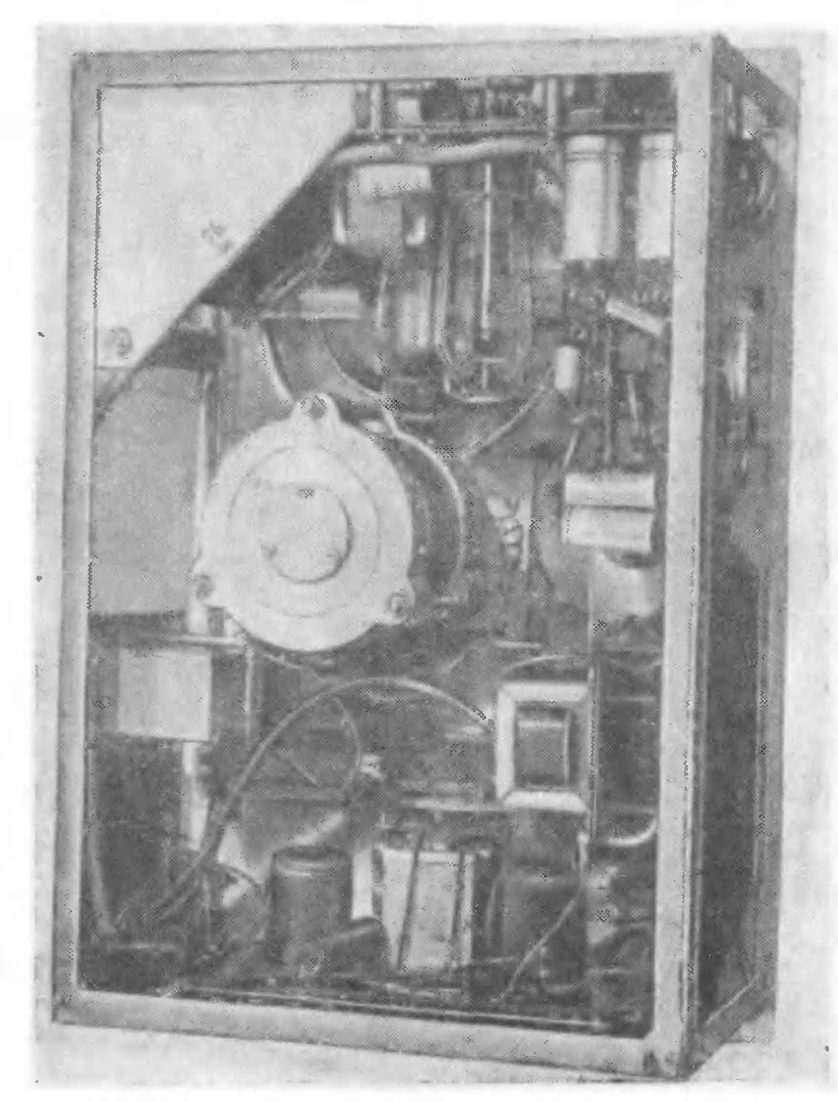


Рис. 108. Внутренний вид магнитофона „SJ 155/02".

Рис. 109. Схема магнитофона SJ 155/02.

коговорителем расположена непосредственно под лентопротяжным механизмом. Схема ее приведена на рис. 109.

Технические данные:

Скорость ленты	19,05 *см/сек*
Диапазон частот (при ленте СН)	50—10 000 *гц*
Входное напряжение	25 *в* на 50 *ком*
Относительный уровень собственных шумов	—45 *дб*
Продолжительность непрерывной записи	45 *мин*
Время обратной перемотки	2,5 *мин*
Выход для подключения внешнего громкоговорителя	7 *ком*
Лампы	EF12к, EF12, EL11, EM11, ECL11, AZ11

61. Магнитофон «Grundig TK5» (ФРГ)

Запись и воспроизведение звука в магнитофоне ТК5 (рис. 110) ведется без помощи радиоприемника. В магнитофоне две головки — стирающая и универсальная. Запись



Рис. 110. Вид магнитофона „ТК5".

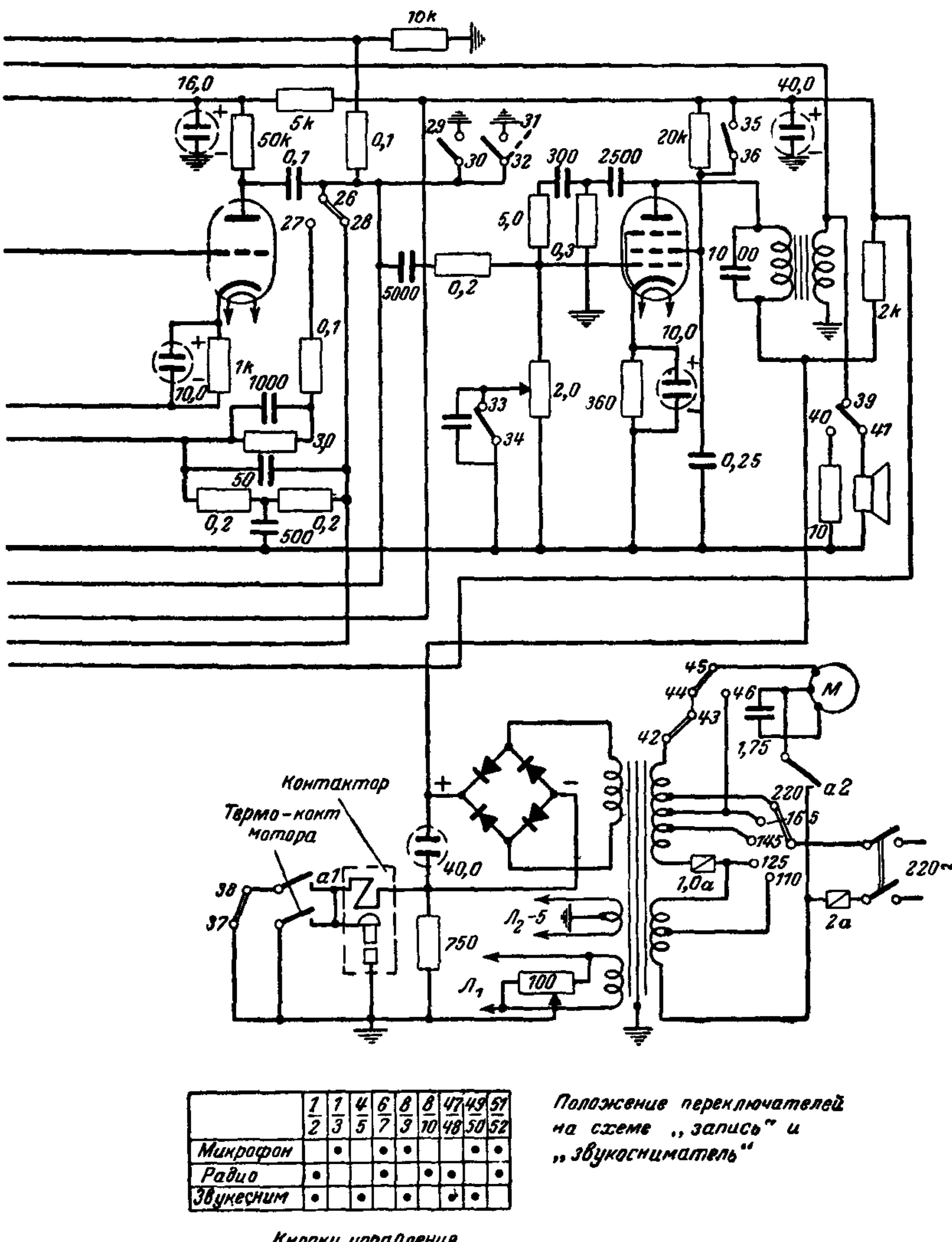
производится на 1/3 ширины ленты, после поворота и перестановки кассет вторая дорожка записывается по другому краю ленты. Общее время записи получается при этом равным 90 *мин* при скорости ленты 9,5 *см/сек* и длине ленты на кассете 260 *м*. Частотный диапазон 50 — 9 000 *гц*. Уро-

	13/11	13/12	15/14	15/16	20/21	22/23	29/30	35/36	19/17	19/18	26/27	26/28	33/34	24/25	31/32	37/38
Выключено							•									
Перемотка							•								•	•
Воспроизвед.		•		•				•		•	•			•	•	•
Запись	•		•		•	•			•			•	•			•

Переключатель рода работы

	42/43	45/44	45/46
Выключено			
Перемотка	•	•	
Воспроизвед.	•		•
Запись	•		•

Мотор



	1/2	1/3	4/5	6/7	8/9	8/10	47/48	49/50	51/52
Микрофон		•		•	•			•	•
Радио	•			•		•	•		•
Звукосним	•		•		•		•	•	

Кнопки управления

Рис. 111. Схема магнитофона „Тк5“.

вень записи контролируется по электронно-лучевому индикатору. Для перезаписи граммофонных пластинок в магнитофоне предусмотрен отдельный вход, на который подается напряжение от звукоснимателя. Схема электронной части приведена на рис 111 (см. вклейку в конце книги)

62. Магнитофон «модель D» инж. Г. Браузе (ГДР)

Портативный магнитофон «модель *D*» (рис. 112) состоит из двух блоков В одном из них, обозначаемом LBD4, размещены: лентопротяжный механизм с усилителем воспроизведения, в. ч. генератор, индикатор уровня и выпрямитель питания Во втором, обозначаемом маркой VD4, смон-

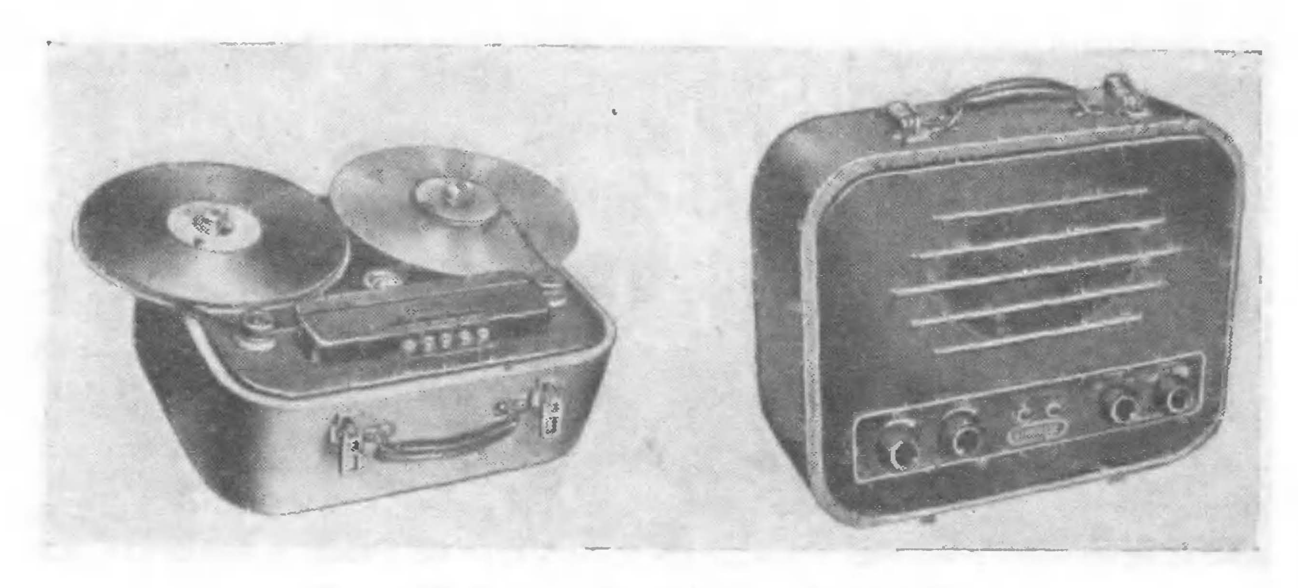


Рис. 112. Вид магнитофона „Модель D“.

тированы: усилитель записи, контрольный усилитель и громкоговоритель. Блак-схема показана на рис. 113.

Схема блока LBD4 приведена на рис. 114. На схеме показано положение пусковой кнопки T_{1-3} для случая воспроизведения записи. В этом положении в. ч. генератор не работает, так как цепь обратной связи на сетке $Л_3$ замкнута на землю контактом T_1. Контакт T_2 разрывает анодную цепь индикатора уровня (лампа $Л_4$), а контакт T_3 отключает записывающую головку. Емкостью C_{15} можно подобрать величину тока подмагничивания. Чувствительность индикатора уровня регулируется потенциометром $П_1$. Частотная характеристика записи корректируется цепочкой R_{16} и $LC_{19}C_{18}$.

Схема блока VB4 приведена на рис. 115. Усилитель записи имеет входной микшер с чувствительностью

Рис. 113. Блок-схема магнитофона „модель D“.

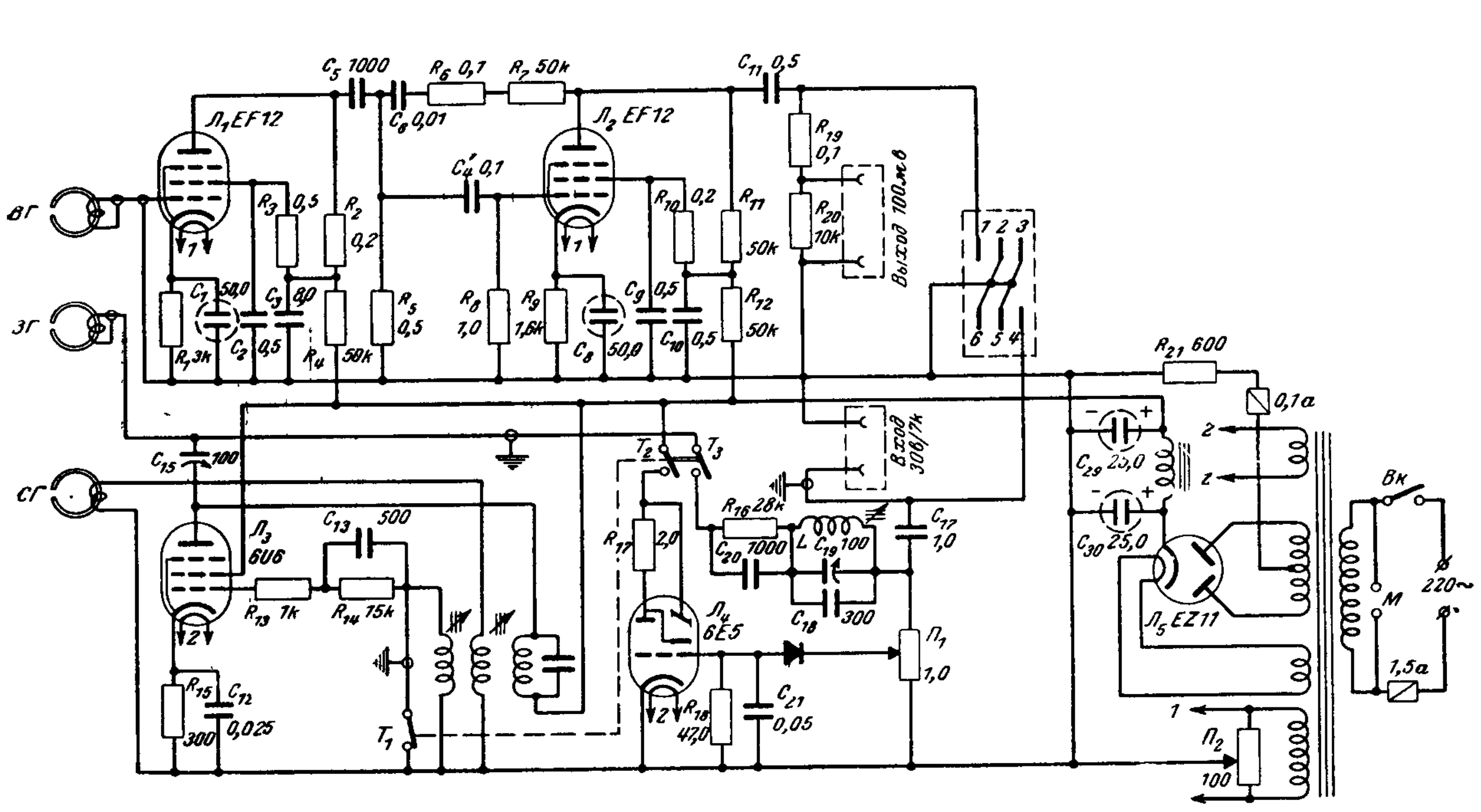


Рис. 114. Схема блока „LBD4".

Рис. 115 Схема блока „VD4".

100 *мв* на сопротивлении 100 *ком*. Контрольный усилитель с громкоговорителем позволяет вести непрерывный контроль после усилителя записи или усилителя воспроизведения в зависимости от положения движка потенциометра $П_3$. Потенциометром $П_4$ регулируется тембр звука.

Магнитофон имеет две скорости — 76,2 или 38,1 *см/сек* — в зависимости от диаметра сменного ведущего ролика. Запись однодорожечная Диапазон частот 30—12 000 *гц*.

63. Магнитофон «Telefunken M5» (ФРГ)

Магнитофон М5 по своим качественным показателям относится к классу студийных установок Скорость движения ленты можно переключать (38,1; 19,05 и 9,5 *см/сек*)

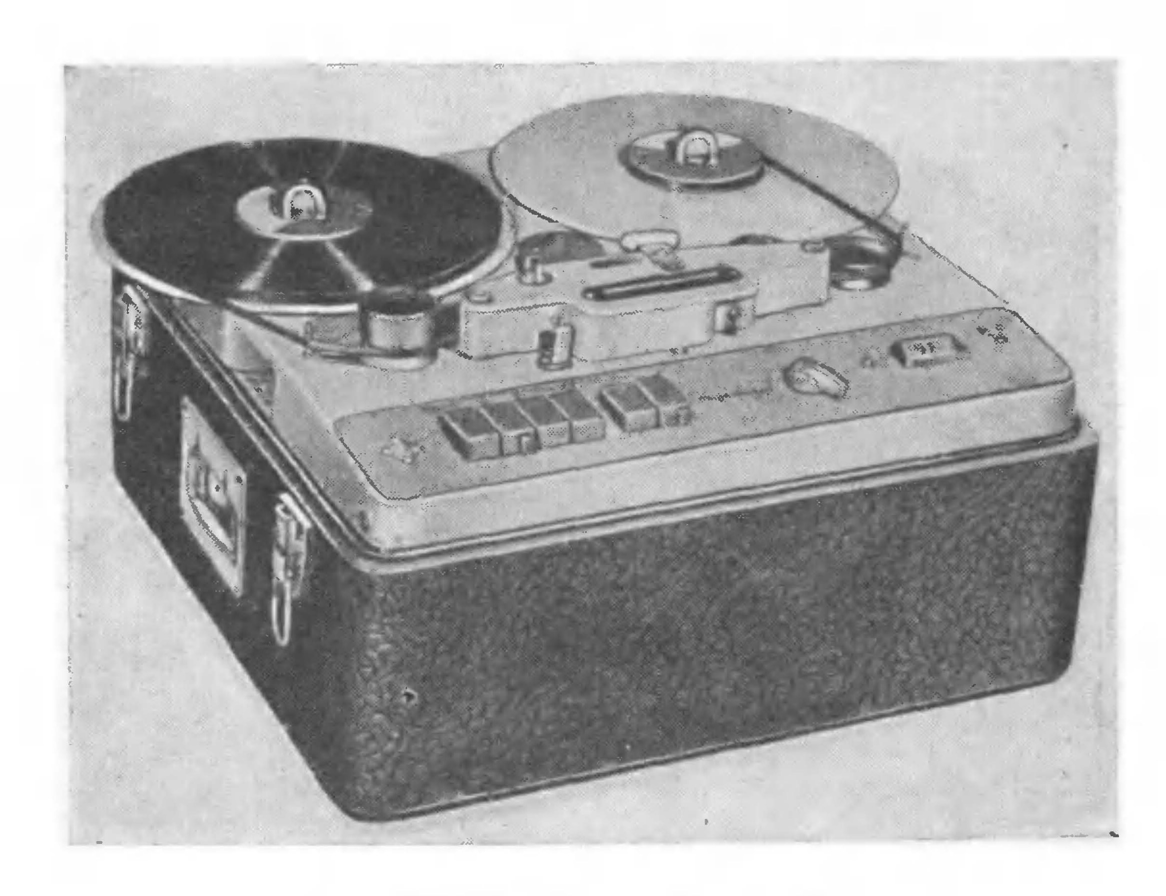


Рис. 116 Вид магнитофона „М5".

ранее описанным методом Общий вид магнитофона показан на рис. 116 и 117 Он собран в чемодане; общий вес 52 *кг* Основную панель лентопротяжного механизма можно поднимать, открывая доступ ко всем деталям и усилителям. Лентопротяжный механизм имеет два двигателя:

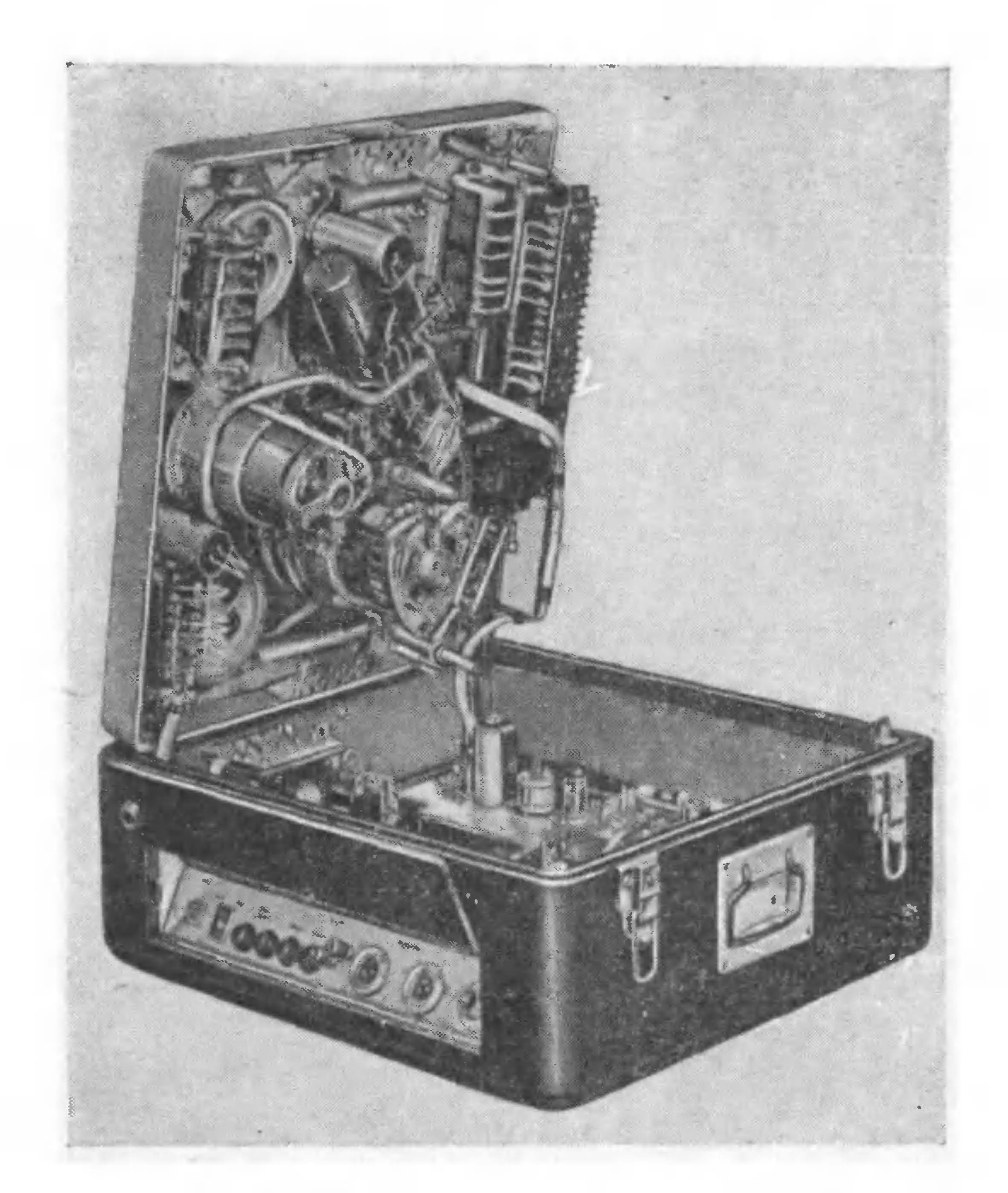


Рис. 117. Вид открытого магнитофона „М5"

ведущий — четырехполюсный синхронный и перемоточный двигатель, который при пмощи пассика и шкивов приводит в движение обе кассеты. При переключении скоростей одновременно переключаются и корректирующие цепи усилителей.

Схема магнитофона М5 приведена на рис 118

Основные технические данные:

Неравномерность частотной характеристики	
в диапазоне 50—8 000 *гц* при скорости 9,5 *см/сек*	±3 *дб*
в диапазоне 40—15 000 *гц* при скорости 19 *см/сек*	±3 *дб*
в диапазоне 30—60 *гц* при скорости 38 *см/сек* . .	±2 *дб*
в диапазоне 60—12 000 *гц* при скорости 38 *см/сек* . . .	±1 *дб*
в диапазоне 12 000—15 000 *гц* при скорости 38 *см/сек*	±2 *дб*

Относительный уровень собственных шумов	—53 *дб*
Периодические колебания скорости при 9,5 *см/сек*	±0,4%
„ „ „ 19 *см/сек*	±0,2%
„ „ „ 38 *см/сек*	±0,1%

Рис. 118. Схема электронной части магнитофона „М5“.

64. Магнитофон «Vollmer» 007» (ФРГ)

Магнитофон типа 007 является стационарной установкой высокого качества (рис. 119).

Лентопротяжный механизм имеет ведущий синхронный двигатель с маховиком, два боковых двигателя с ленточными тормозами и позволяет производить ускоренную перемотку ленты в обоих направлениях. Управление производится четырьмя пусковыми кнопками.

Схема усилителя воспроизведения тип 140 000 приведена на рис. 120. Он корректирует сигнал, получаемый от воспроизводящей головки (1,5 *мв*), и усиливает его до уровня 1,55 *в* на нагрузочном сопротивлении 200 *ом*. Воспроизводящая головка с индуктивностью 70 *мгн* и зазором 0,014 *мм* имеет малое сопротивление и поэтому подключается к сетке лампы $Л_1$ через трансформатор $Тр_1$ (лепестки *1, 2* на входе усилителя). Трансформатор имеет



Рис. 119. Общий вид магнитофона Vollmer „007“

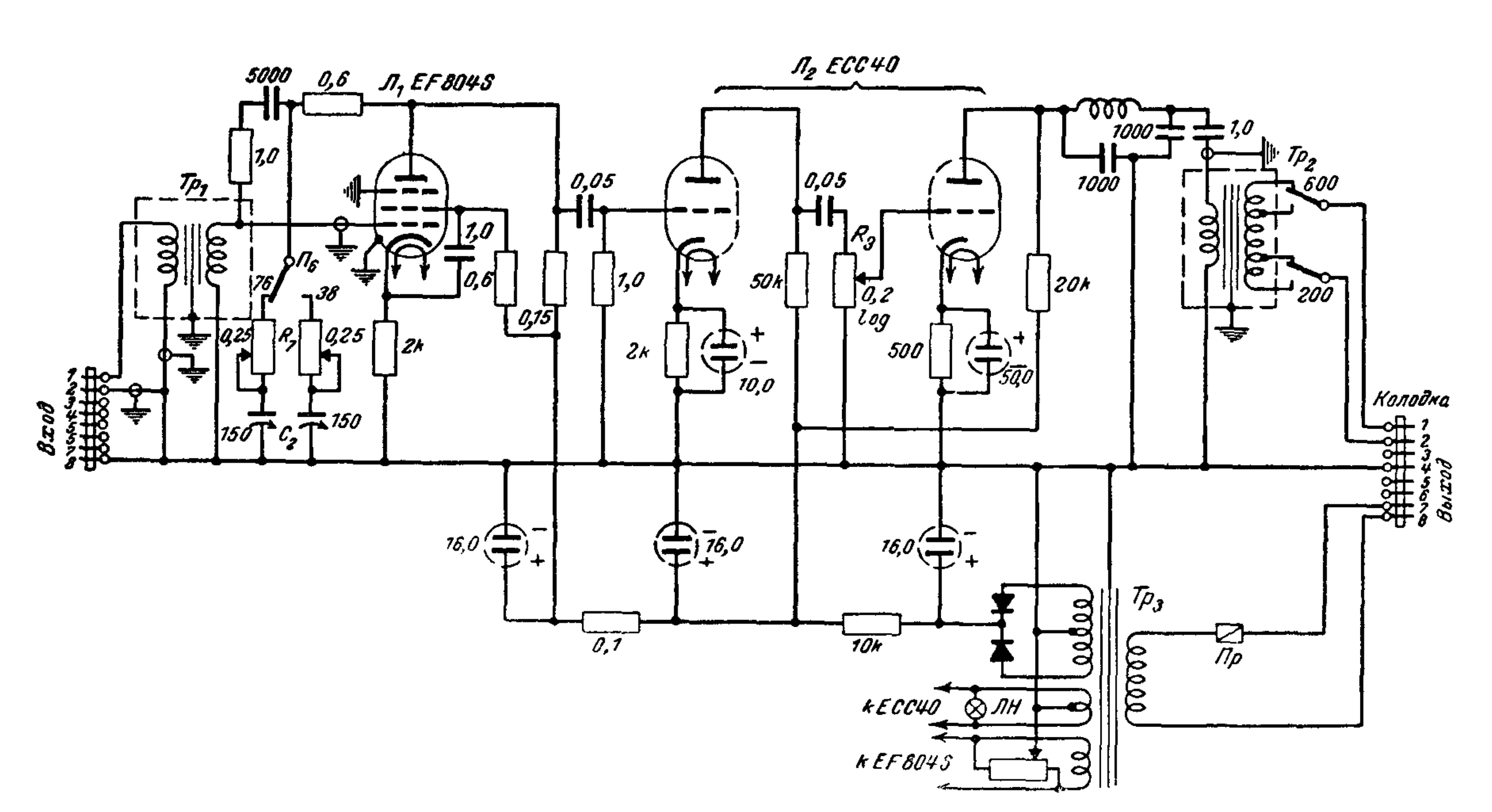


Рис. 120. Схема усилителя воспроизведеиия типа „140000“.

Рис. 121. Схема усилителя записи типа „107000“.

многослойную магнитную экранировку. В первой лампе (тип EF804) применена обратная связь для корректировки частотной характеристики. Регулировка характеристики на высоких частотах производится потенциометрами R_7 и конденсаторами C_2 раздельно для двух скоростей. Корректированное напряжение подается на сетку лампы ECC40. Величина усиления в этом каскаде регулируется потенциометром R_3. Выход второго триода подключается к выходному трансформатору Tp_2 через фильтр срезающей частоты выше 20 *кгц*.

Схема усилителя записи типа 107000 показана на рис. 121. Входное напряжение 1,5 *в* подводится к первичной обмотке трансформатора Tp_1. Усиление регулируется потенциометром $R_1=10$ *ком*, нагружающим вторичную обмотку. Корректирующие звенья между лампами $Л_1$, $Л_2$ включаются переключателем $П_1$ в зависимости от скорости 76,2 или 38,1 *см/сек*. Одновременно переключается нагрузка, шунтирующая выходной трансформатор Tp_2. Между вторичной обмоткой Tp_2 и выходными клеммами (*1—2*) включена фильтр-пробка, препятствующая проникновению токов подмагничивания в обмотку трансформатора.

Ток подмагничивания и стирания с частотой 75 *кгц* вырабатывается генератором на лампе $Л_3$. Катод, управляющая сетка и экранная сетка этой лампы вместе с контуром БФ334 образуют генератор. Величина возбуждения регулируется потенциометром R_3. Ток подмагничивания и стирания подается в головки через высокочастотный трансформатор БФ335. При необходимости ток стирания можно усилить, замыкая накоротко выключателем сопротивление 20 *ком* в экранной цепи генератора. Обычно ток записи равен 6 *ма*, ток подмагничивания—10 *ма* и ток стирания 160 *ма*.

Анодное напряжение подводится к усилителю через контакты *5 — 6* и включается кнопкой «Запись» на панели лентопротяжного механизма.

65. Магнитофон «Tesla 517060» (ЧСР)

Магнитофон предназначен для работы в студиях (рис. 122). Лентопротяжный механизм имеет три двигателя: ведущий синхронный с асинхронным пуском и два боковых асинхронных. Управление работой магнитофона производится несколькими кнопками, замыкающими реле в рабочих цепях. Предусмотрена возможность дистанционного управления при помощи выносной пусковой колодки, со-

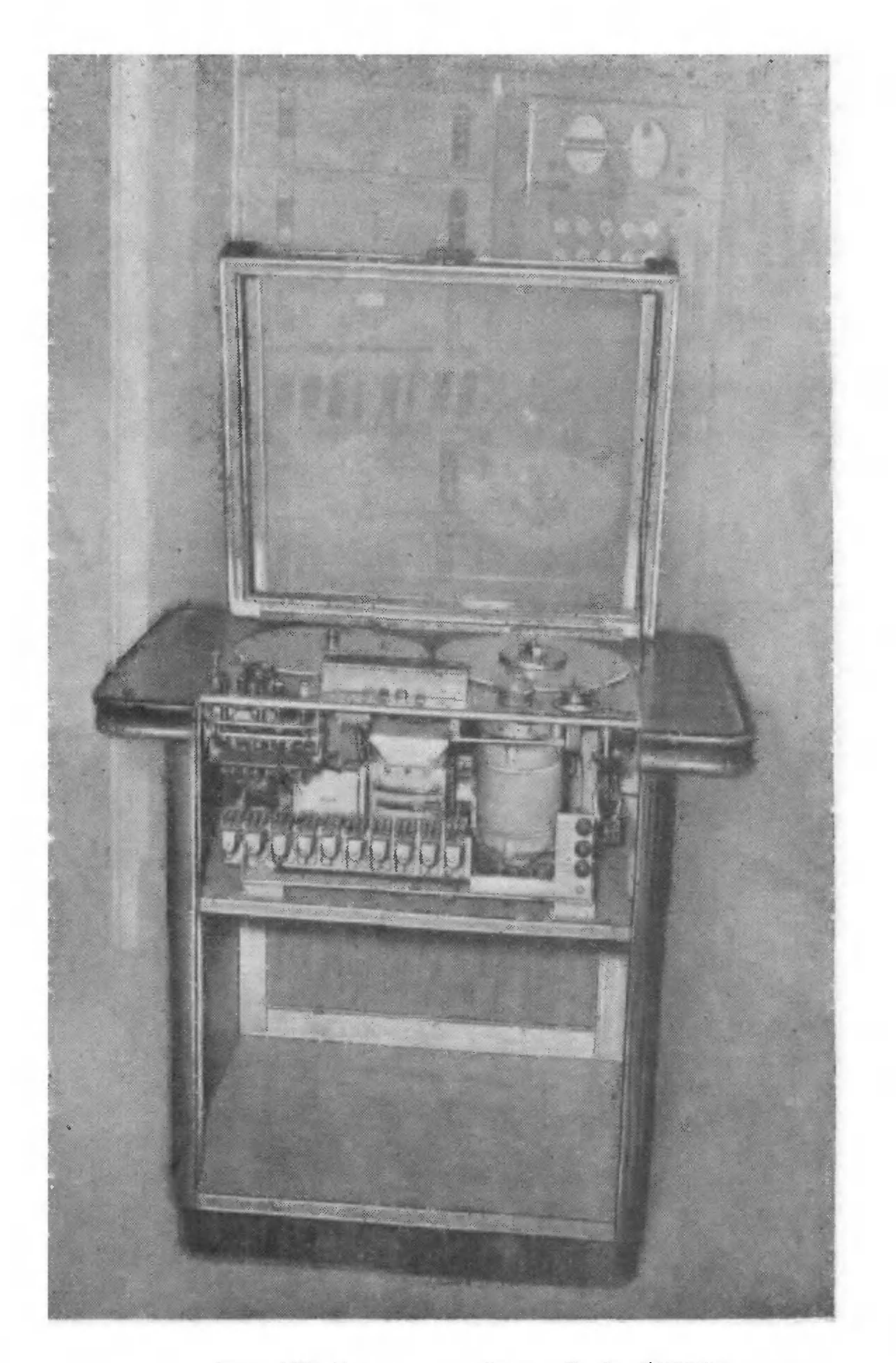


Рис. 122. Вид магнитофона „Tesla 517060".

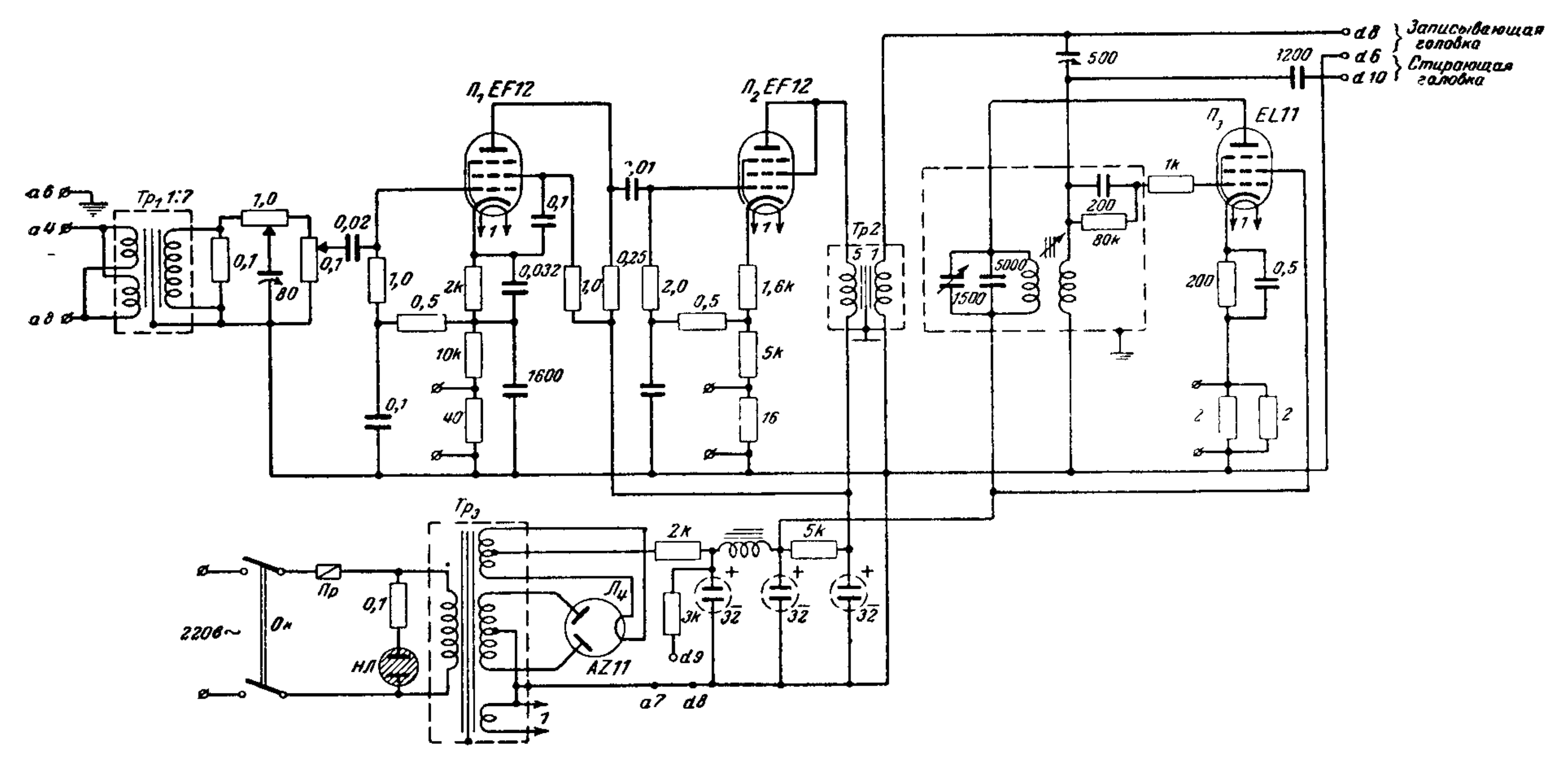


Рис. 123. Схема усилителя записи „Tesla 517950".

Рис. 124. Схема усилителя воспроизведения „Tesla 717960".

единяемой шестипроводным кабелем с основным пультом управления.

Под блоком магнитных головок расположен механизм для автоматического отвода ленты от головок при перемотке.

Торможение двигателей осуществляется постоянным током; прижимный ролик управляется электромагнитом.

В магнитофоне применены усилитель записи Tesla 517950 и усилитель воспроизведения Tesla 517960, приспособленные для головок с малым сопротивлением.

Схемы усилителей приведены на рис. 123, 124 (в приложении).

Технические данные:

Скорость движения ленты	76,2 *см/сек*
Диапазон частот	40—12 000 *гц*
Натяжение ленты	100—40 *г*
Наибольшее натяжение ленты при пуске	500 *г*
Наибольшее время пуска	0,3 *сек*
Наибольшее время остановки	0,5 *сек*
Наибольшее плавное изменение скорости	0,4%
Наибольшие периодические колебания скорости	±0,2%

66. Магнитофон «Sander Janzen SJ 100» (ГДР)

Лентопротяжный механизм магнитофона SJ 100 сконструирован для работы в студиях (рис. 125). Скорость движения ленты по желанию может быть 76,2; 38,1 или 19,05 *см/сек*. Управление ведется пятью кнопками: «Ускоренная обратная перемотка», «Ускоренная перемотка вперед», «Воспроизведение», «Запись» и «Остановка». Кнопку «Запись» можно нажать только после предварительного поворота вправо. При перемотке и воспроизведении лента автоматически отходит от стирающей и записывающей головок.

При нажатии кнопки «Остановка» все двигатели тормозятся подключением постоянного напряжения к статору. Источником постоянного тока служит выпрямитель (70 *в*; 1 *а*).

Ведущий двигатель — восьмиполюсный синхронный. Боковыми являются асинхронные двигатели с возможностью переключения на 4 или 12 полюсов. Для поддержания по-

стоянного натяжения ленты применен регулятор натяжения, расположенный у левой кассеты, который изменяет напряжение на левом двигателе в зависимости от диаметра сматываемого рулона ленты. В результате натяжение ленты сохраняется в пределах 60—100 *г*.

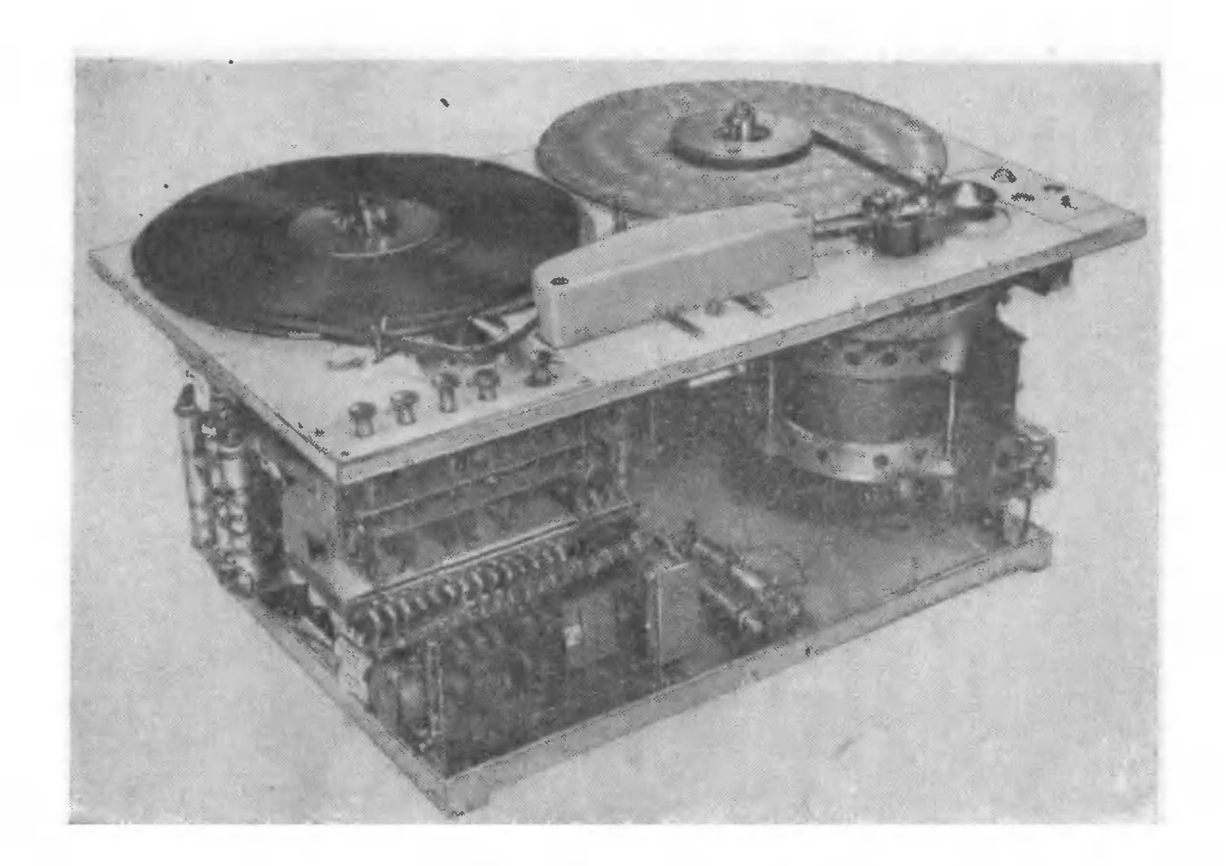


Рис. 125. Вид лентопротяжного механизма „SJ 100“.

Во всем механизме применены подшипники скольжения; ход механизма совершенно бесшумный.

Схема усилителей записи и воспроизведения и в. ч. генератора приведена на рис. 126.

Технические данные лентопротяжного механизма:

Скорость	76,2 38,1 и 19,05 *см/сек*
Периодические колебания скорости	±0,1%
Натяжение ленты	80±20 *г*
Давление прижимного ролика	3±0,5 *кг*
Время пуска	1 *сек*
Время торможения	0,5 *сек*

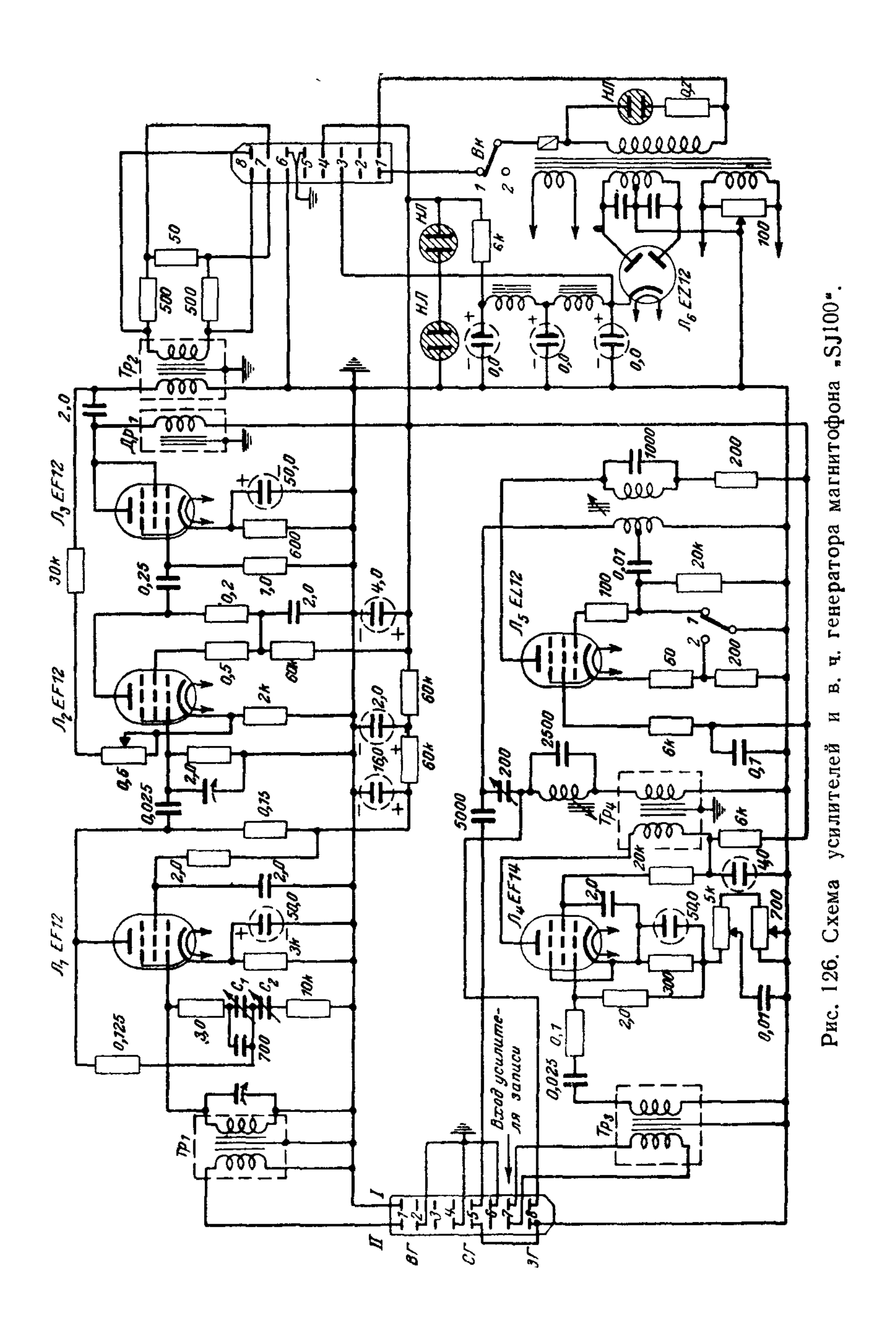


Рис. 126. Схема усилителей и в. ч. генератора магнитофона „SJ100“.

ГЛАВА ДЕСЯТАЯ

ПРИМЕНЕНИЕ МАГНИТОФОНА

В настоящее время трудно себе представить радиовещание или работу заводов граммзаписи, кино- и телевизионных студий без применения звукозаписи на магнитофоне. Кроме названных областей, магнитофон широко внедряется в работу предприятий, учреждений, в различные отрасли науки и искусства. Запись и воспроизведение информации и распоряжений, телефонных разговоров, игры музыкантов и актеров, лекций в школах и клубах осуществляются сегодня при помощи магнитофонов.

Наиболее молодой и обнадеживающей отраслью применения магнитофона надо считать запись телевизионного сигнала изображения на магнитную ленту. По сравнению с записью на кинопленку она дает большую экономию материала и времени, так как магнитную запись изображения можно, так же как и звуковую, «стереть» и применить ленту повторно.

Ниже мы остановимся подробнее лишь на некоторых интересных применениях магнитофона в области акустики, так как эта область непосредственно связана с темой книги.

67. Искусственное послезвучание и эхо

Чтобы исключить возможность смешивания этих понятий, объясним сначала разницу между эхом и послезвучанием.

Эхом называется отраженный звук, прослушиваемый с некоторым запаздыванием после первоначального звука. Примером может служить эхо в скалистой местности.

Послезвучание является многократным отражением звука от стен закрытого помещения. Отраженные звуки интерферируют с последующими отражениями, и в течение некоторого времени после исчезновения первоначального звука в помещении еще прослушивается послезвучание. Отрезок времени, в течение которого интенсивность отраженного звука упадет ниже порога слышимости, определяет физиологическое время послезвучания. Объективно послезвучание измеряется временем, в течение которого первоначальная интенсивность звукового сигнала уменьшится на 60 *дб*. Послезвучание влияет не только на силу звука, но и на его окраску, вспомним хотя бы звучание речи в больших старинных залах.

В радиовещательных и телевизионных студиях, а также в киностудиях, часто встречается необходимость создать впечатление послезвучания.

Искусственное послезвучание можно создать несколькими способами, в частности специальными магнитофонами. Для совершенной имитации послезвучания в них пришлось бы применять много воспроизводящих головок. Положение, оказывается, можно значительно упростить, если комбинировать воспроизведение с повторной записью сигнала, получаемого с какой-либо воспроизводящей головки.

Принцип работы такого устройства показан на рис. 127. Сигнал от микрофона (без послезвучания) после соответствующего усиления поступает в линию *1*, нагруженную на выходе громкоговорителем, и, кроме того, в цепь записывающей головки. Воспроизводящие головки (*1* — *9*) расположены на различных расстояниях вдоль ленты. Каждая головка имеет свой усилитель с возможностью регулировки уровня сигнала в зависимости от требуемого значения времени послезвучания. Сигналы с усилителей воспроизведения тоже подаются по линии *2* к выходному громкоговорителю. Сигналы с головок *3*, *6* и *9* записываются повторно.

Диаграмма послезвучания, развернутая по времени, показана на том же рисунке внизу. Время послезвучания равно 4 *сек* при скорости ленты 1 *м/сек*. Затухание сигналов за это время получается равным 60 *дб*. При увеличении скорости движения ленты густота сигналов (число вертикальных линий на рисунке) увеличивается.

Записанный сигнал последовательно воспроизводится головками *1*—*9*. На рисунке уровни воспроизводимых сигналов показаны прямыми линиями с индексами от 1^{I} до 9^{I}. Сигнал, воспроизводимый головкой *3*, снова записывается и создает серию вторичных сигналов, показанных прямыми с индексами 1_3^{II} и до 9_3^{II}. То же самое получается и от повторной записи сигналов с головок *6* и *9*. Их вторичные сигналы соответственно обозначены $1_6^{II}—9_6^{II}$ и $1_9^{II}—9_9^{II}$. Вторичные сигналы с головок *3*, *6*, *9* снова дублируются, образуя серию третичных сигналов, показанных прямыми $1_3^{III}—9_3^{III}$; $1_6^{III}—9_6^{III}$ и $1_9^{III}—9_9^{III}$. Процесс повторяется, и возникающие комбинации сигналов становятся многочисленнее.

Общий вид установки для искусственного послезвучания показан на рис. 128. Магнитный слой нанесен по обо-

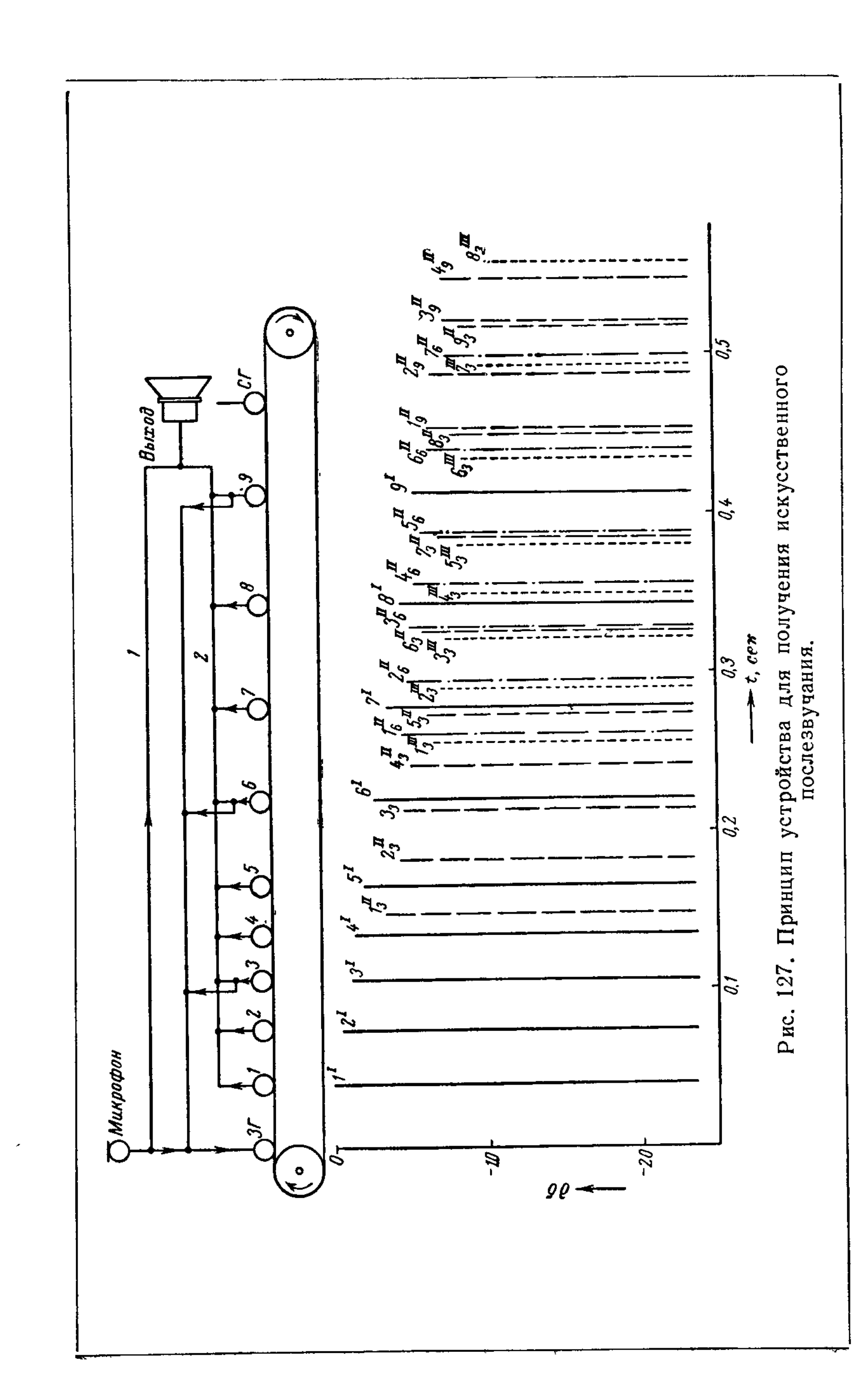


Рис. 127. Принцип устройства для получения искусственного послезвучания.

ду диска диаметром 330 *мм*. Головки расположены полукругом на расстоянии от поверхности обода диска примерно 10 *мк*. Ведущий двигатель синхронный; переключение числа полюсов и червячная передача позволяют изменять линейную скорость — 1, 2 и 4 *м/сек*. Во всех усилителях предусмотрена корректировка частотных характеристик

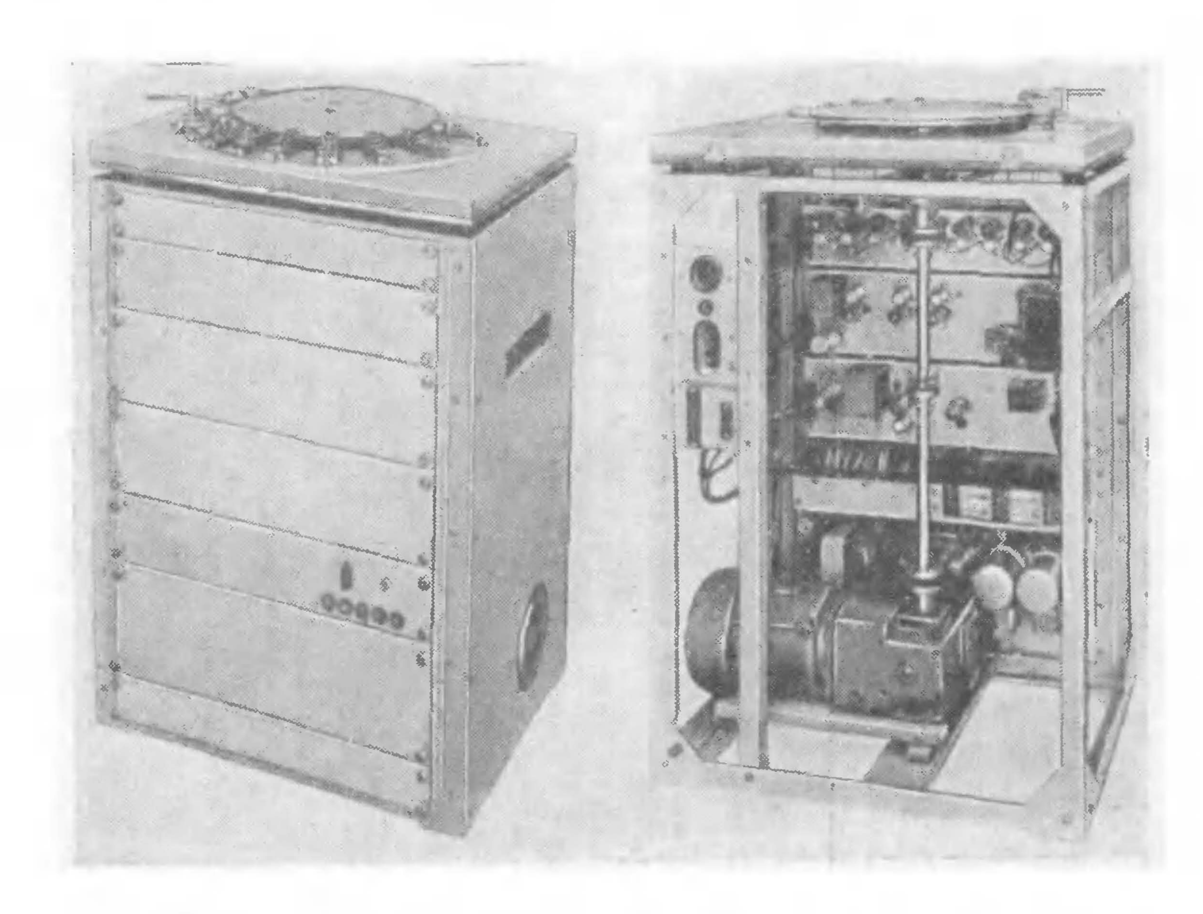


Рис. 128. Общий вид устройства для получения искусственного послезвучания.

для получения различных оттенков послезвучания. Управление работой устройства производится дистанционно с пульта управления. Качество получаемого искусственного послезвучания соответствует естественному послезвучанию в акустически совершенном помещении.

В некоторых подобных устройствах применяются две записывающие головки и соответственно уменьшенное число головок воспроизведения. В этом случае записывающие головки расположены на некотором расстоянии и обратные сигналы подводятся к обеим головкам.

68. Магнитофон в технике кинофильма

Магнитная запись звука значительно помогла усовершенствованию техники воспроизведения звука в кино. Если

еще недавно звуковая часть кинофильма отставала по естественности от видовой части, то теперь стереофоническое звуковое сопровождение равноценно по впечатлению широкоэкранной проекции. Познакомимся вкратце со способом стереофонической записи и воспроизведения звука в системе «Cinemescop».

Запись звука в студии производится на перфорированную магнитную ленту шириной 35 *мм* одновременно с двух

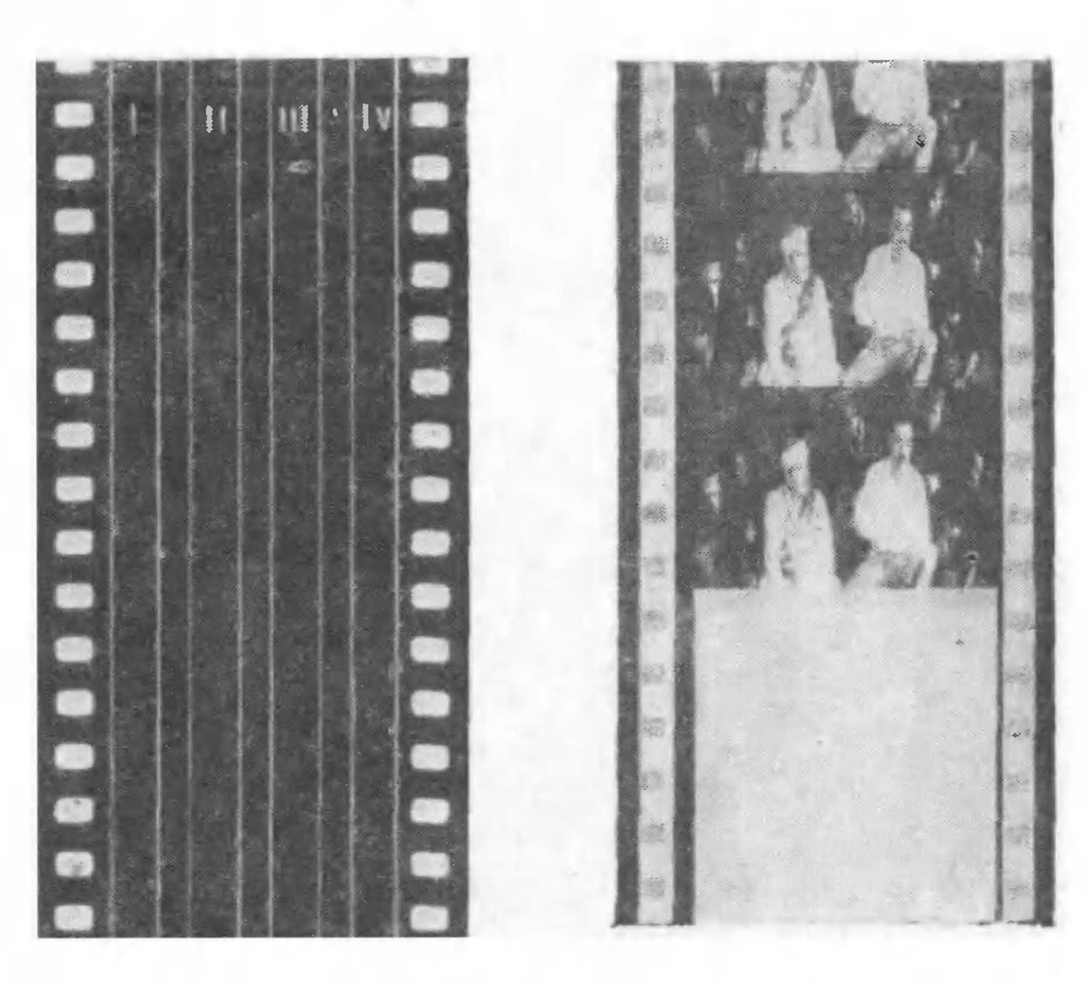


Рис. 129. Запись на широкую магнитную ленту (35 *мм*).

Рис. 130. Комбинированная копия киноленты с магнитной записью звука.

или трех раздельных звуковых каналов. Перфорация ленты необходима для соблюдения синхронности звукового и оптического воспроизведений. В первичной записи отдельные звуковые каналы записываются на дорожках (I—IV), размещенных по всей ширине ленты, как показано на рис. 129.

При изготовлении копии киноленты для показа в кино расположение звуковых дорожек должно быть иным. На рис. 130 показано несколько кинокадров, заснятых по системе «Cinemascope». Размеры ленты остаются прежни-

ми (изменена лишь форма перфорации), но изображение специальной оптической системой «сжато» по ширине (на фотографии видны «вытянутые» лица) и на образовавшейся свободной полоске ленты нанесены дорожки магнитной записи.

Схема проекционного устройства показана на рис. 131. Кинопроектор снабжен специальной оптической системой, которая «растягивает» изображение в ширину, восстанавливая первоначальные соотношения кадра 2,55 : 1 на проекционном экране кино. Между верхним барабаном киноленты и проекционной системой расположены рядом четыре

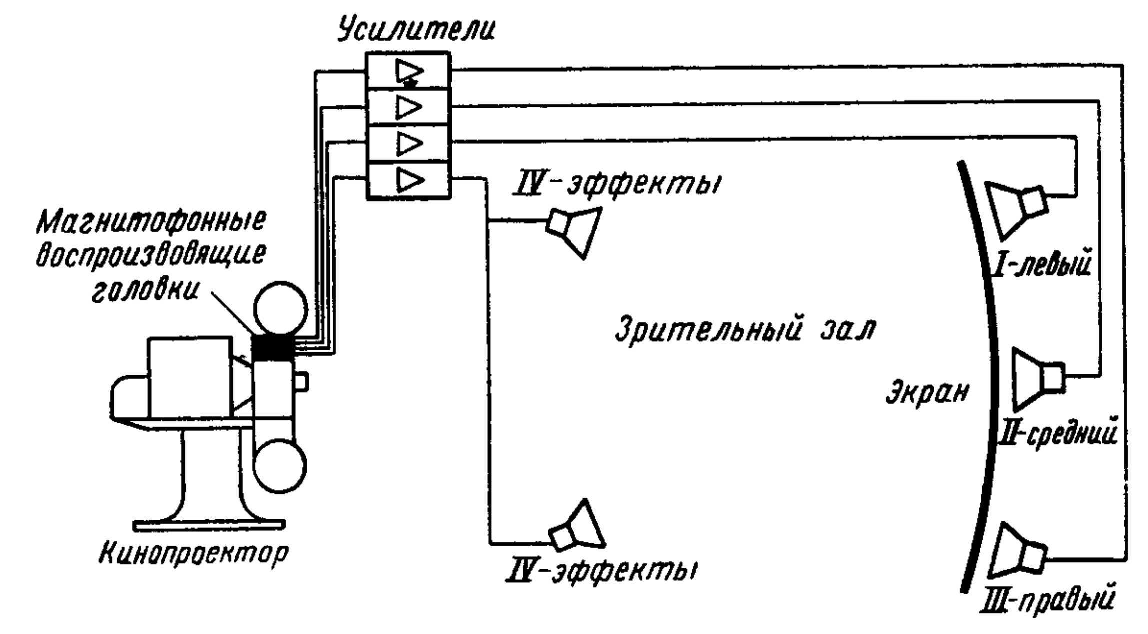


Рис. 131. Блок-схема кинопроектора с четырехканальным воспроизводящим устройством.

магнитные головки, подключенные к отдельным усилителям и громкоговорителям.

Громкоговорители расположены так, чтобы получилось впечатление объемного звучания. Три из них — левый, средний и правый — расположены за проекционным экраном, и к ним подводятся сигналы с трех широких магнитных дорожек. Четвертая, более узкая дорожка служит для воспроизведения в зрительном зале различных звуковых эффектов через два расположенных в нем громкоговорителя.

На рис. 132 показана фотография магнитофона VUZORT для записи звука в киностудиях.

Запись производится на перфорированную магнитную ленту шириной 35 *мм.* Скорость движения ленты 45,6 *см/сек*, что соответствует 24 кадрам в секунду у обычных кинолент.

Другая конструкция магнитофона (тип Ма 35/2 DEFA, ГДР) показана на рис. 133. Магнитофон записывает два независимых сигнала на двух дорожках шириной 5 *мм.* Лента передвигается зубчатым барабаном, приводимым в движение синхронным двигателем. К равномерности хода ленты предъявляются очень большие требования. Поэтому около магнитных головок расположен специальный механический стабилизатор, поддерживающий равномерность хода ленты и ее натяжение. По обеим сторонам блока головок расположены два ролика; к левому лента прижимается обрезиненным роликом, препятствующим проскальзыванию. За передней панелью магнитофона на оси левого ролика укреплен диск, тормозящийся вихревыми токами; благодаря этому левый ролик сглаживает колебания скорости ленты до подхода ее к головкам. На оси правого ролика укреплен большой маховик, также поддерживающий равномерность хода ленты. Для уменьшения времени запуска маховик автоматически раскручивается при включении ведущего двигателя. Между правым роликом и зубчатым барабаном помещен подвижный направляющий ролик, который тормозится небольшим воздушным насосом.

Натяжение ленты вблизи головок равно 500 *г*, а ее давление на головки около 45 *г*. Наибольшее значение периодических колебаний скорости не более 0,15%.

В магнитофоне имеется три пары головок: стирающие, записывающие и воспроизводящие. Ширина набора сердечников равна 5 *мм*. Стирающие головки имеют стальной экран, остальные экранированы мюметаллом. У всех головок можно регулировать наклон рабочих зазоров.

Двухканальный усилитель записи имеет в каждом канале каскад усиления и в. ч. генератор (рис. 134). Сильная обратная связь в усилителе уменьшает нелинейные искажения и обеспечивает стабильность работы усилителя. Корректировка высоких частот ступенчатая (9 положений), рассчитана на компенсацию износа головок и применение лент разных типов. Усилитель можно без изменений использовать и при скорости ленты 76,2 *см/сек*.

Высокочастотный генератор собран по двухтактной схеме; частота тока стирания равна 40 *кгц*, для подмагничивания используется вторая гармоника 80 *кгц*. Регулировка величин тока подмагничивания позволяет для разных типов ленты подобрать его оптимальное значение. Переключателем каналов можно подвести анодное напряжение (+ *b*) к первому или второму каналу. При одновременной

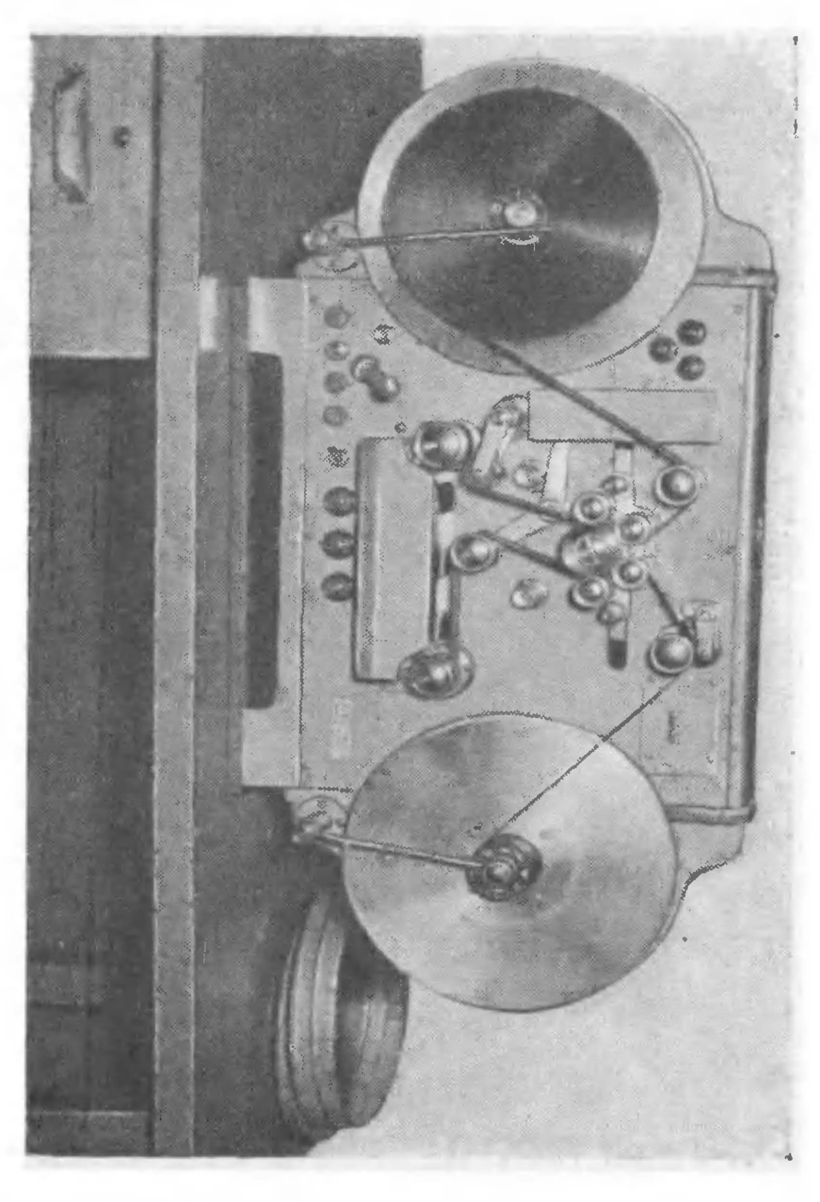


Рис. 133. Вид магнитофона „DEFA“.

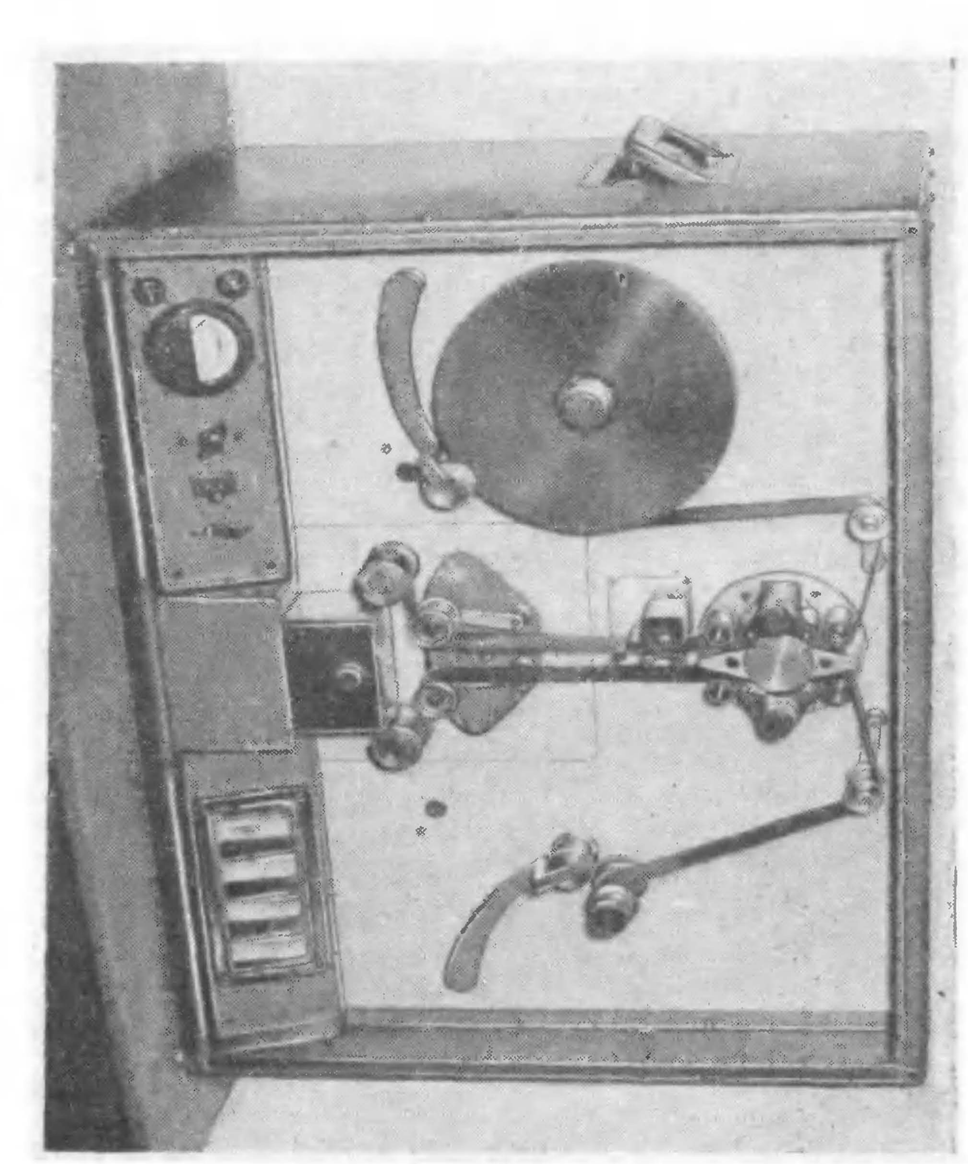


Рис. 132. Вид магнитофона „VUZORT“.

142—2

Рис. 134. Схема усилителя записи „DEFA“.

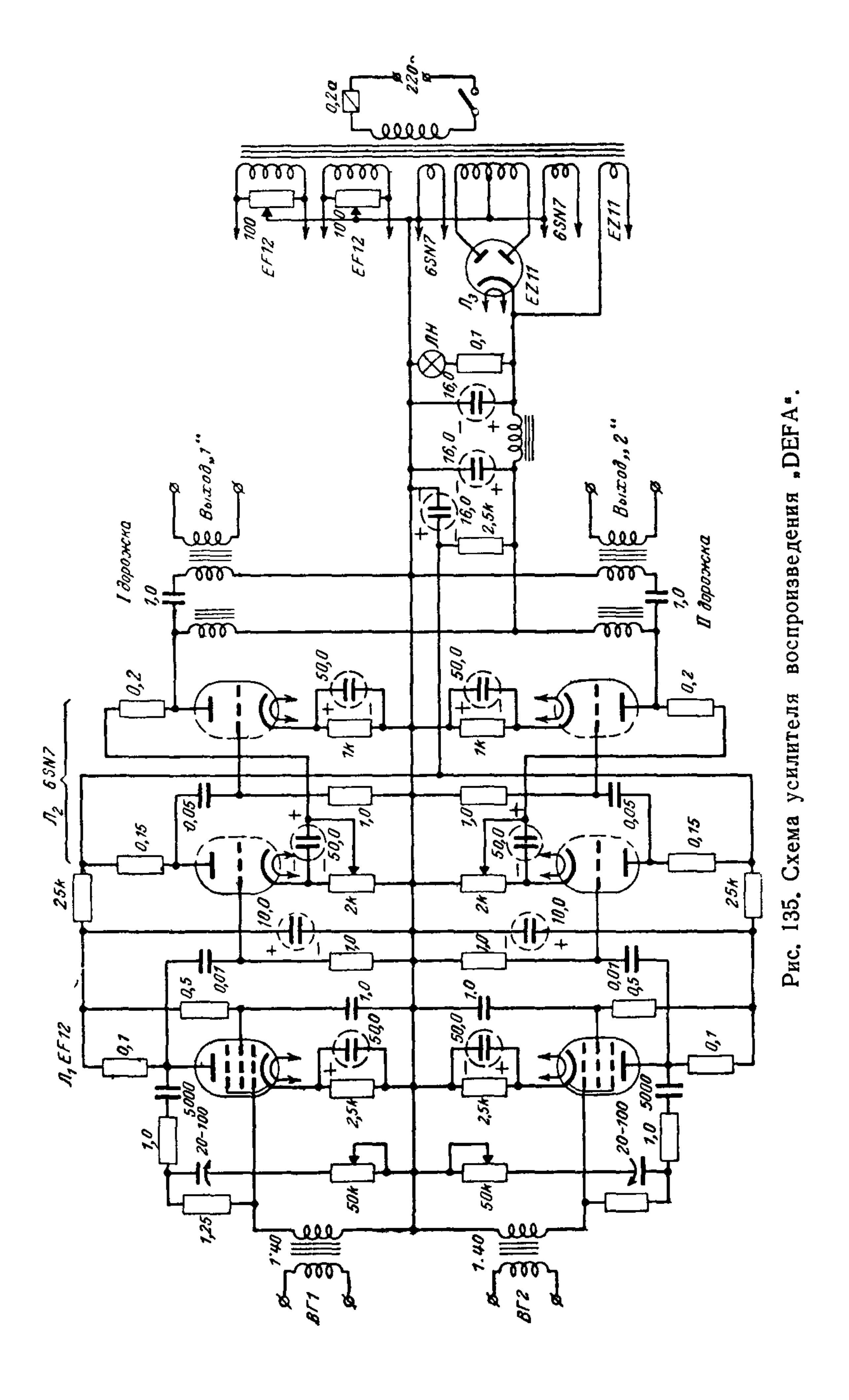


Рис. 135. Схема усилителя воспроизведения „DEFA“.

записи двух дорожек точка $+b$ соединяется с точками a_1 и a_2; при записи только на одну дорожку точка $+b$ соединяется или с a_1 и c_1 или с a_2 и c_2. Включение каждого канала сигнализируется неоновой лампочкой *НЛ*.

Усилитель воспроизведения тоже двухканальный (рис. 135). Каждый канал содержит входной корректирующий каскад с обратной связью и двухкаскадный усилитель с равномерной частотной характеристикой.

Коррекция частотной характеристики в первом каскаде регулируется потенциометром 50 *ком* и емкостью 20—100 *пф*. Усилитель можно применять и при скорости ленты 76,2 *см/сек*.

В комплект к магнитофону, кроме того, входит микшерский пульт с индикатором уровня записи, усилители для контроля работы магнитофона и другое вспомогательное оборудование.